HANDLEIDING

TOT DE

Theoretische en Praktische Zeevaartkunde,

BENEVENS EEN BEKNOPTE VERHANDELING OVER DE

HYDROGRAPHIE,

DOOR

D. J. BROUWER,

Luitenant ter Zee der 1e Klasse, belast met het onderwijs in de Stuurmanskunst, aan het Koninklijk Instituut voor de Marine te Willemsoord.

HERZIEN DOOR

E. SIMON VAN DER AA,

Luitenant ter Zee der 1e Klasse, belast met het onderwijs in de Stuurmanskunst en de Sterrekunde, aan het Koninklijk Instituut voor de Marine te Willemsoord.

Met Platen en Kaarten.

EERSTE DEEL.

Tweede Druk.

NIEUWEDIEP,
J. C. DE BUISONJÉ.
1880.

Geen exemplaar wordt voor echt erkend, tenzij geteekend

Aangaande het doel en de strekking van deze Handleiding tot de theoretische en praktische Zeevaartkunde, heb ik slechts weinig in het midden te brengen. Ik heb getracht, hetgeen anderen vóór mij over dit onderwerp reeds hadden gezegd, met het oog op de eischen van den tegenwoordigen tijd en op datgene, wat de ondervinding mij geleerd heeft, tot een geheel te vereenigen en alzoo den zeeman te verschaffen een theoretisch en, naar ik hoop, ook praktisch leerboek voor dit zoo gewichtig deel zijner studiën. Bij de verschijning daarvan is het mij een aangename taak openlijk mijn dank te betuigen aan den Heer Dr. F. J. STAMKART, *die zich de moeite getroost heeft mijne copie te doorlezen en mij met groote welwillendheid een tal van bijzonderheden verstrekt heeft, waarvan ik de voornaamste aan den voet der bladzijde heb aangeduid. Gaarne erken ik het goede, dat men in dit werk moge aantreffen, voor een niet onbelangrijk gedeelte verschuldigd te zijn aan de mededeelingen van genoemden geleerde. De gebreken, die het nog mogen aankleven, en die uit mijne opvatting van het onderwerp kunnen zijn voortgevloeid, gelieve men goedgunstig te verschoonen.*

Ten slotte moet ik opmerken, dat de tafels, waarnaar ik in dit werk verwijs, die zijn, welke twee jaar geleden bij den uitgever dezes van mijne hand het licht zagen, alsmede dat, ter voorkoming van misverstand, de platen en figuren voor dit en het volgende deel doorloopend zullen genummerd zijn.

NIEUWEDIEP, Mei 1864. D. J. BROUWER.

—

Bij het bezorgen van dezen tweeden druk der »Handleiding" *is het mijn streven geweest, alleen* die *veranderingen aan te brengen, welke noodig bleken te zijn, zoo volgens de zoo vleiende beoordeeling van wijlen den Hoogleeraar F. Kaiser, opgenomen in de Mededeelingen voor het zeewezen, Deel V en VIII, als naar aanleiding van wijzigingen in de instrumenten van den tegenwoordigen tijd en van de ervaring, door mij opgedaan, bij het geven van onderwijs.*

Men vindt dus in deel I de nieuwe kompassen en het Universaal Instrument kortelijk beschreven, terwijl in Deel II, het Hoofdstuk Tijdmeters, en dat over de Regeling der kompassen een geheele omwerking vorderden.

Daar de zeevaartkundige tafels afzonderlijk worden herdrukt en hierin een schema voor de berekening van het problema van Snellius voorkomt, zijn de formules op pag. 113 *zoo behouden als ze in den eersten druk voorkwamen, hoewel de oplossings-methode volgens de Trigonometrie van B. L. Vries, leeraar aan het Koninklijk Instituut voor de Marine, wellicht wegens meerdere kortheid, de voorkeur verdient.*

In de beschouwingen over de interpolatie met inachtneming der tweede verschillen enz. zijn de voorbeelden, uit den 1[en] *druk onveranderd behouden.*

Gaarne breng ik openlijk mijn dank aan den Hoogleeraar Dr. J. A. C. Oudemans *te Utrecht, die met zijne bekende welwillendheid mij voor het Hoofdstuk Sterrekunde tal van nuttige wenken gaf en dat Hoofdstuk geheel heeft herzien, terwijl ik ook aan genoemden geleerde de beschouwingen over de kijkers te danken heb.*

Vooral ook omdat zijn Hooggeleerde in Oost-Indië zoovele zee-officieren in hunne verschillende werkzaamheden zag, en dus geheel op de hoogte der eischen van dezen tijd is, was zijn steun mij dubbel welkom.

Eindelijk vermeld ik hier met dankbaarheid dat mijn hooggeachte Vriend, Dr. P. J. Kaiser, *Verificateur der Rijks-Zeeinstrumenten te Leiden, mijne geheele copie heeft doorgelezen, vóórdat zij ter perse ging en mij bij de behandeling der Tijdmeters en Kompassen met zijne rijke ondervinding en kennis steeds welwillend ter zijde stond.*

Willemsoord, Juni 1880. E. Simon van der Aa.

INHOUD VAN HET EERSTE DEEL.

EERSTE HOOFDSTUK.

De aarde en hare afbeeldingen.

TWEEDE HOOFDSTUK.

Zeilaadjes.

VIERDE HOOFDSTUK.

VIJFDE HOOFDSTUK.

Beschrijving van den Nautical Almanac.

ZESDE HOOFDSTUK.

Reflexie-werktuigen.

HET GRIEKSCHE ALPHABET.

Α α Alpha.	Ι ι Iota.	Ρ ρ Rho.
Β β Beta.	Κ κ Kappa.	Σ σ Sigma.
Γ γ Gamma.	Λ λ Lambda.	Τ τ Tau.
Δ δ Delta.	Μ μ Mu.	Υ υ Upsilon.
Ε ε Epsilon.	Ν ν Nu.	Φ φ Phi.
Ζ ζ Zeta.	Ξ ξ Xi.	Χ χ Chi.
Η η Eta.	Ο ο O micron.	Ψ ψ Psi.
Θ θ Theta.	Π π Pi.	Ω ω O mega.

ERRATA.

bladz. 6	regel 7 v. b.	staat	S	lees s
" 8	" 13 v. o.	"	rechststreeksche	" rechtstreeksche
" 27	" 7 v. o.	"	36°	" 136°
" 27	" 14 v. o.	"	de kompasroos	" *b.* de kompasroos
" 32	" 16 v. o.	"	de kompasketel	" *c.* de kompasketel
" 47	" 5 v. b.	"	vloeistof-sloepkompassen	" vloeistof-sloepskompassen
" 51	" 20 v. b.	"	Weithaupt	" Breithaupt
" 136	" 1 v. b.	"	7 mijl	" 6 mijl
" 174	" 13 v. o.	"	$\frac{1.2}{e^2}$ sin2m	" $\frac{e^2}{1.2}$ sin 2m
" 219	" 7 v. o.	"	bladz. 200	" bladz. 209
" 221	" 4 v. b.	"	kan	" dan

" 232 r. 4 v. o. in de noot *staat* $ZP = 90 - Q$ dus $PQ = Q$ *lees* $ZP = 90 - \varphi$ dus $PQ = \varphi$

" 235 regel 17 v. o. *staat* hoek $APZ = ☊ -$ *lees* hoek $APZ = ☊ - l$

" 244	" 14 v. o.	"	$\frac{p}{R}$	" $\frac{p_0}{R}$
" 260	" 2 v. o.	"	2^s,7	" 2^m,7
" 288	" 6 v. o.	"	parallaktischen	" parallatischen
" 289	" 19 v. b.	"	Pister	" Pistor
" 304	" 5 v. b.	"	glas-oppervlakte	" glas-oppervlakten
" 310	" 21 v. b.	"	op zeer weinig na in	" in
" 313	" 16, 21, 24 v. b.	*staat*	h	" h'
" 317	" 2 v. o.	*staat*	Dolland	" Dollond
" 318	" 8 v. o.	"	buizen	" lenzen
" 319	" 1 v. b.	"	worden	" werden

Plaat IX[c] fig. 5 De rechte lijn AB. moet weggelaten worden

" fig. 6 De meest rechtsche lijn schijnt recht, maar moet zeer zwak gebogen zijn

" fig. 7 De lijntjes in de lens, dg, ce enz. moeten niet horizontaal zijn, maar divergeeren, en wel
de bovenste drie alsof zij uit het punt L komen
" middelste " " " " " " E "
" onderste " " " " " " T "

bladz. 385 regel 3 v. o. *staat* 10' *lees* 10"

EERSTE HOOFDSTUK.

DE AARDE EN HARE AFBEELDINGEN.

I. ALGEMEENE BEPALINGEN.

De zeevaartkunde, ook wel stuurmanskunst geheeten, is de wetenschap, die den zeeman de middelen aanwijst, om ten allen tijde te bepalen de plaats op de oppervlakte der aarde, waar hij zich bevindt, en den weg, dien hij volgen moet, om op de meest geschikte wijze de plaats zijner bestemming te bereiken.

Zij handelt over de gedaante en grootte der aarde, over de cirkels en kromme lijnen, die op haar oppervlak gedacht kunnen worden, over de algemeene verschijnselen van den sterrenhemel en over de middelen om met behulp van deze de standplaats des waarnemers te bepalen; voorts behoort nog tot haren kring de beschrijving van de inrichting en het gebruik der zeevaartkundige werktuigen, zoo als van het kompas, de log, den sextant, de tijdmeters, enz.

Ofschoon er nog vele andere onderwerpen zijn, die men tot het gebied der zeevaartkunde zoude kunnen rekenen, zoo hebben we ons alleen de behandeling van het bovenstaande ten doel gesteld en vangen onze beschouwing aan met die van de gedaante en grootte der aarde.

II. DE GEDAANTE DER AARDE.

De vroegste denkbeelden omtrent de gedaante der aarde waren, zooals bij de weinige ontwikkeling der waarnemers te verwachten was, hoogst onnauwkeurig en slechts het gevolg van de indrukken, die de zinnen bij een oppervlakkige beschouwing ontvingen. Niet lang echter duurde

het, of men begon haar een lichamelijken inhoud toe te kennen en reeds de leerlingen van PYTHAGORAS beschouwden haar als kogelvormig.

De gronden, waarop wij haar thans een bolvormige gedaante toekennen, zijn hoofdzakelijk de volgende:

1°. Bevindt men zich op zee, en vertoont zich in de verte een schip, dan ziet men daarvan eerst de hoogste deelen en later, als het schip naderbij komt, de lager gelegen deelen, zoodat het op ons den indruk maakt alsof het schip over een gebogen vlak te voorschijn treedt. Nu openbaart zich dit verschijnsel in alle richtingen en op alle plaatsen op volkomen dezelfde wijze, en wij zullen dus mogen aannemen, dat de oppervlakte der zee regelmatig gebogen is. Merkt men voorts op, dat de oneffenheden van het vaste deel der aardoppervlakte, met betrekking tot hare grootte, uiterst gering zijn, en dat het verschil in hoogte tusschen het land en de zee, met betrekking tot beider uitgestrektheid, niet groot is, zoodat zij beschouwd kunnen worden als een doorloopend oppervlak te vormen, dan zal men uit de gebogen oppervlakte der zee, tot die van het land, en ook tot die der geheele aarde mogen besluiten.

2°. Men ziet de kim, zijnde de afscheiding van lucht en water, altijd als een cirkel, althans zeer weinig daarvan afwijkende, welk verschijnsel slechts op een bolvormige aarde mogelijk is.

3°. De aarde door de zon beschenen, werpt een schaduw achter zich. Bij maaneclipsen vertoont die schaduw zich op de maan, en dewijl de grens dier schaduw immer cirkel- of boogvormig is, zoo vindt men daarin een reden te meer om de bolvormigheid der aarde aan te nemen.

4°. De samenstelling der kaarten berust op de bolvormige gedaante der aarde. Ware de aarde geen bol, dan zou dit spoedig blijken uit een gebrek aan overeenstemming tusschen de kaarten en de bevinding, bij het dagelijksch gebruik dat van de kaarten gemaakt wordt.

Alvorens de beschouwing over de gedaante der aarde voort te zetten, moeten wij de verklaring geven van eenige benamingen, die met betrekking tot dat lichaam gebruikt worden.

III. DE EQUATOR, MERIDIANEN, PARALLELLEN EN POLEN DER AARDE.

De aarde wentelt in 24 uren om een rechte lijn PP', fig. 1, die door haar middelpunt gaat en as genoemd wordt. Die lijn snijdt het oppervlak der aarde in twee punten P en P', aan welke men den naam geeft van polen. Denkt men zich een vlak, loodrecht door het midden der as gebracht, dan snijdt dit het oppervlak der aarde volgens een grooten cirkel EQ, die den naam draagt van evenaar, equator,

evennachtslijn of linie. De equator verdeelt de aarde in twee gelijke deelen, waarvan het door ons bewoonde het Noorder- en het andere het Zuider-halfrond wordt geheeten. De pool in het eerste gelegen, is de Noord-, en de andere de Zuid-pool.

De groote cirkels *PAP'*, *PDP'*, enz., welke door de polen getrokken worden, heeten meridianen of middagcirkels. Zij staan loodrecht op den equator, die hen middendoor deelt, zoodat de boog tusschen de pool en den equator 90° bevat.

Met behulp der genoemde cirkels kan men de ligging van een punt op het oppervlak der aarde volkomen bepalen. Wenscht men b. v. de ligging van zeker punt *A* te bepalen, dan denkt men zich een meridiaan, die door dat punt getrokken is, meet den afstand *AN* van dat punt tot den equator, langs dien meridiaan, en den afstand *NG* van dezen tot een vast punt *G* op den equator, langs laatstgenoemden cirkel. De eerste afstand is de Breedte, de tweede is de Lengte van het bedoelde punt. De Breedte wordt onderscheiden in Noorder- en Zuider-Breedte, naar gelang het punt in het Noorder- of Zuiderhalfrond gelegen is. Zij wordt geteld van den equator naar de polen, zoodat de equator op 0° Breedte ligt.

De Lengte wordt gewoonlijk van 0° tot 180° geteld en onderscheiden door de benamingen Ooster- en Wester-Lengte, naar gelang er rechts of links geteld wordt, ten opzichte van een waarnemer, die het gezicht naar het Noorden houdt gekeerd, en dien wij ons in het op den equator als vast aangenomen punt kunnen denken.

In enkele gevallen wordt de Lengte Oostwaarts van 0° tot 360° gerekend. Het vaste punt, van waar de Lengte geteld wordt, is de doorsnede van den equator en een zekeren meridiaan, die naar willekeur gekozen kan worden, en dan eerste meridiaan genoemd wordt. Bij ons bezigt men daarvoor, ten minste in zeevaartkundige werken, den meridiaan van Greenwich, die door de Engelschen als eerste meridiaan is aangenomen. De eerste meridiaan der Franschen is die over Parijs, gelegen op 2°20'9" Oost van Greenwich. De Pruisen hebben als eersten meridiaan aangenomen dien over Berlijn, op 13°23'43" O. van Greenwich; de Denen dien over Kopenhagen, op 12°34'39" O. van Greenw.; de Zweden dien over Stockholm, op 18°3'29" O. van Greenw.; de Russen thans dien over het observatorium van de Pulkowa, op 30°19'40" O. van Greenw., vroeger dien over St. Petersburg, op 30°18'22" O. van Greenw.

In vroeger tijd was de meridiaan over Ferro, op 20° West van Parijs, vooral bij de zeevarende natiën in gebruik. Na al het bovenstaande zal ieder voorzeker gevoelen, hoe noodzakelijk het is, om bij de opgaven van Lengten steeds uitdrukkelijk den meridiaan te noemen, die als eerste is aangenomen.

De equator is de grondslag van de kromme lijnen, die als coördinaten voor de plaatsbepaling op aarde gebezigd worden. Men is namelijk bij de keuze uit de vele cirkels, die men op de aarde daartoe trekken kan, gebonden door twee hoofdvereischten:

1o. dat die cirkel zijne ligging op aarde onveranderlijk moet behouden;

2o. dat die ligging gemakkelijk te bepalen moet zijn.

Aan beide voorwaarden voldoet de equator.

1o. Zijne ligging toch hangt af van die der as, en dewijl deze steeds door dezelfde punten van het oppervlak der aarde gaat, zoo verandert ook de ligging van den equator niet, met betrekking tot de punten van het aardoppervlak, waarover hij loopt.

2o. De as der aarde behoudt, op kleine wijzigingen na, haren stand in de ruimte. Dit is dus ook het geval met den equator, en hierdoor is, zooals wij later zien zullen, de bepaling van zijne ligging gemakkelijk.

De Breedte en Lengte eener plaats op aarde ondergaan dus, als men het bovenstaande in aanmerking neemt, geen verandering.

Men drukt de Lengte dikwijls in tijd uit. Dewijl de aarde in 24u om hare as wentelt, zal de equator in hetzelfde tijdsverloop, achtereenvolgens al zijne punten naar een zelfde vast punt des hemels toekeeren. De omtrek des equators is, even als die van alle cirkels, verdeeld in 360°, en bij gelijkmatige beweging, zullen dus 15° in één uur voorbij genoemd punt gaan, of 15° boogs hetzelfde voorstellen als 1u tijds. Wij zullen later op dit punt terugkomen.

Bij het wentelen der aarde om hare as, zal elk punt van een meridiaan een kleinen cirkel beschrijven, waarvan de verschillende middelpunten allen in de as gelegen zijn. Die kleine cirkels *LM* dragen den naam van parallellen, omdat zij allen aan den equator en dus onderling evenwijdig zijn. De parallelcirkel eener plaats snijdt al de meridianen op gelijken afstand van den equator, waarom het onverschillig is op welken meridiaan die afstand, of wel de Breedte, gemeten wordt.

Vier voorname parallelcirkels, die eigenlijk niet tot de aarde behooren, maar van den hemel zijn afgeleid, dragen den naam van keerkringen en poolcirkels. De eerstgenoemden liggen op ongeveer 23½° afstands ter weerszijden van den equator; de laatstgenoemden op ongeveer 23½° van de polen. Die in het Noorder-halfrond heeten Kreeftskeerkring en Noord-poolcirkel, die in het Zuider-halfrond, Steenboks-keerkring en Zuid-poolcirkel. Men rekent deze cirkels tot de aarde, omdat zij de oppervlakte in vijf deelen verdeelen, die den naam van aardgordels of luchtstreken dragen. De gordel tusschen de keerkringen heet de verzengde luchtstreek, de gordels tusschen de keerkringen en de poolcirkels worden de gematigde lucht-

streken genoemd, terwijl aan de gedeelten, die door de poolcirkels worden afgesneden, den naam van koude of bevrozen luchtstreken is gegeven. Wij zullen in het derde hoofdstuk zien, door welke punten aan den hemel, de genoemde parallellen beschreven worden.

IV. NADERE BESCHOUWING VAN DE GEDAANTE EN GROOTTE DER AARDE.

Onderstellen wij, dat de aarde bolvormig zij, dan kan hare grootte bepaald worden, door de rechtstreeksche meting van een gedeelte eens meridiaans, bijaldien men te gelijker tijd door de Breedtebepaling der eindpunten, het aantal graden kent, dat de gemeten boog bevat. Immers zullen wij dan, als R de lengte van den aardstraal beteekent, deze evenredigheid hebben:

$$\text{lengte gemeten boog} : \text{verschil in breedte} = 2\,R\,\pi : 360^\circ$$

waaruit R opgelost, en dus ook de grootte van den aardbol kan worden gevonden.

Inderdaad poogde reeds ERATOSTHENES, ongeveer 300 jaar vóór onze jaartelling, op de genoemde wijze de grootte der aarde te bepalen; en ofschoon zijne waarnemingen en de gegevens, die hij daarbij als goed aannam, in nauwkeurigheid verre achterstaan bij hetgeen later en vooral thans gevorderd wordt, waardoor het resultaat, dat hij verkreeg, verre van de waarheid was, zoo komt hem nogtans de eer toe, de grondlegger te zijn van een methode, die nog heden ten dage gebezigd wordt.

Nadat HUYGENS en NEWTON, op theoretische gronden, het denkbeeld ontwikkeld hadden, dat de aarde geen bol was, maar een afgeplatte sphaeroïde, dat is een lichaam, geboren door de omwenteling van een ellips om hare kleine as, was een enkele graadmeting niet voldoende tot bepaling van hare grootte, maar moesten er minstens twee metingen van bogen, onder verschillende Breedten gelegen, geschieden, om de grootte en te gelijker tijd de afplatting van de aarde te kunnen vinden. Gaat men uit van het denkbeeld, dat de aarde een sphaeroïde is, waarvan de kleine as der beschrijvende ellips door de polen gaat, dan blijven de equator en de parallellen cirkels, en men zal, om de gedaante der aarde te bepalen, slechts de kromming der verschillende deelen van een meridiaan hebben na te gaan. Ziehier op welk beginsel dit onderzoek berust.

Gaat de kleine as van den elliptischen meridiaan door de polen, fig. 2, dan moet de kromming in E in de nabijheid van den equator

grooter zijn, dan die in P of in de nabijheid der pool. Denkt men zich namelijk twee bogen aa' en bb' van gelijke lengte, doch op verschillende Breedten gelegen, dan zal de hoek ara', welke de normalen aan de uiteinden van den eerstgenoemden boog met elkander vormen, grooter zijn, dan de op overeenkomstige wijze gevormde hoek bsb'; en omgekeerd, wanneer men de hoeken r en s aan elkander gelijk stelt, dan zal de hoek s door een grooteren boog aan de pool worden onderspannen, dan de hoek r in de nabijheid van den equator. Het volgende moge tot opheldering van het bovenstaande dienen. Volgens het onderzoek van BOUGUER en LA CONDAMINE, in Peru verricht, bedroeg de afstand tusschen de parallellen van Tarqui en Cotschesqui 176875,5 toisen, terwijl de eerstgenoemde plaats op 3°4'32",068 Z. Breedte, de laatstgenoemde op 0°2'31",387 N. Breedte gelegen was.

Berekent men, met behulp van deze gegevens, de lengte van den boog van 1° op de gemiddelde Breedte, dat is op 1°31'0",34 Z. Breedte, dan vindt men die gelijk aan

56733,87 toisen.

Door een gelijksoortige meting vond SWANBERG voor den afstand tusschen de parallellen van Malörn en Pahtawara in Lapland 92977,981 toisen; en dewijl deze plaatsen op 65°31'30",265 en 67° 8'49",83 N. Breedte gelegen zijn, verkrijgt men voor de lengte van 1° op 66°20'10",05 N. Breedte

57196,15 toisen.

Wij zien dus, dat de boog van 1°, op de hoogere Breedte gelegen, 462,88 toisen langer is, dan die op de lagere, hetgeen met de onderstelling overeenkomt, dat de gedaante van de aarde niet volkomen bolvormig is.

De hoogere wiskunde geeft ons het middel aan de hand, om door de verbinding van twee dergelijke metingen, de afmetingen van den elliptischen meridiaan te bepalen. Noemt men daartoe a de halve groote as der ellips, e de excentriciteit, G de Lengte van 1° en B de Breedte van het midden van dien graad, dan is:

$$G = \frac{\pi a (1 - e^2)}{180 (1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{3}{2}}}.$$

Laat verder op een andere Breedte B', G' de lengte van 1° zijn, dan is ook:

$$G' = \frac{\pi a (1 - e^2)}{180 (1 - e^2 \sin^2 B')^{\frac{3}{2}}}.$$

Door verbinding van deze twee vergelijkingen, verkrijgen wij:

$$e^2 = \frac{1 - \left(\frac{G}{G'}\right)^{\frac{2}{3}}}{\sin^2 B' - \left(\frac{G}{G'}\right)^{\frac{2}{3}} \sin^2 B}$$

terwijl door substitutie van e in de uitdrukkingen voor G of G', de waarde van a gevonden kan worden. Neemt men nu voor G, G', B en B' de waarden, die door de bovengenoemde metingen zijn verkregen, dan vindt men:

$$e^2 = 0{,}0064351$$
$$a = 3271651 \text{ toisen}$$

en voor de afplatting m:

$$m = 1 - \sqrt{(1 - e^2)} = \frac{1}{310{,}29}.$$

Men heeft dergelijke graadmetingen op onderscheiden plaatsen der aarde bewerkstelligd, doch de waarden, die men daardoor voor e, a en m vond, verschilden voor elk stel metingen, hetgeen tot dusverre deels aan fouten in de waarnemingen, deels aan afwijkingen van de gedaante der aarde van den zuiveren sphaeroïdaalvorm is toegeschreven. Door de verbinding der waarden, afgeleid uit 10 metingen, verkreeg BESSEL (1)

log e =	8,912205—10		
afplatting m =	$\frac{1}{299{,}1528}$	. . . log. =	,7524108—10
halve groote as =	3272077,14	toisen „ =	6,514823
„ kleine as =	3261139,33	„ „ =	6,513369
1° op den equator =	57108,519	„ „ =	4,756701
1 Geographische mijl =	3807,2346	„ „ =	3,580610.

De verhouding tusschen de toise en de Meter is:

1 toise = 1,9490364 M. log. = 0,289820.

Latere onderzoekingen, en inzonderheid die van den Russischen generaal F. VON SCHUBERT, schijnen aan te toonen, dat de genoemde onregelmatigheden moeten worden toegeschreven aan fouten in de Breedtebepalingen der eindstations, ten gevolge van afwijkingen van het paslood door plaatselijke, meer en minder verwijderde invloeden (2).

Ons bestek laat niet toe hierover in meer bijzonderheden te treden. Wij deelen alleen mede, dat het SCHUBERT gebleken is, dat, na genoemde afwijkingen in rekening te hebben gebracht, uit de Russische, En-

(1) Astronomische Nachrichten n°. 333 en 438.
(2) Astronomische Nachrichten n°. 1303.

gelsche en Fransche graadmetingen, met een bewonderenswaardige overeenstemming, de navolgende elementen worden afgeleid:

$$\text{afplatting } \alpha = \frac{1}{283{,}032}$$

halve groote as = 3272667,1 toisen
„ kleine as = 3261104,3 „

en dat uit alle graadmetingen, met uitzondering van de tweede Oost-Indische blijkt, dat de gedaante der aarde, als die eener volkomen sphaeroïde kan worden aangemerkt.

Een ander hulpmiddel, ter bepaling van de gedaante der aarde, wordt ons door den slinger gegeven. De aarde trekt alle voorwerpen zoodanig aan, alsof hare geheele stofmassa nabij haar middelpunt vereenigd was, en dit alleen aantrok. Het punt, waarin men zich de stofmassa vereenigd kan denken, is voor ieder punt op de oppervlakte, een weinig verschillend, maar steeds nabij het middelpunt. Bij een grootere verwijdering van het laatstgenoemde punt, neemt de kracht, waarmede eenig voorwerp wordt aangetrokken, af, en de veranderlijke duur der schommelingen van denzelfden slinger zal bij verplaatsing op het oppervlak der aarde aantoonen, dat men zich op verschillende afstanden van het middelpunt bevonden heeft.

Omgekeerd, zal men den slinger, om op de verschillende punten van het oppervlak gelijke slingertijden te verkrijgen, verschillende lengten moeten geven.

Uit de waarnemingen met den slinger, met inachtneming van de middelpuntvliedende kracht, leidt men voor de afplatting nagenoeg dezelfde waarde af, als door de rechtstreeksche metingen. Brengt men de middelpuntvliedende kracht niet in rekening, dan is de afplatting volgens den slinger veel grooter dan die volgens de metingen, hetgeen niet kan worden aangenomen. Wij komen later op dit punt, als bewijs voor de wentelende beweging der aarde om hare as, terug.

V. GEOGRAPHISCHE EN GEOCENTRISCHE BREEDTE.

Zij $EPQP'$, fig. 2, de elliptische meridiaan van een plaats A op de afgeplatte aarde en AB een normaal in dat punt, dan zal de hoek $ABQ = \varphi$, dien de genoemde lijn met hare projectie op den equator vormt, de geograpische Breedte van het punt A zijn, terwijl de hoek $AOQ = \varphi'$, gevormd door den straal AO en zijne projectie op den equator, de geocentrische Breedte van A genoemd wordt.

Ofschoon in het algemeen, in de zeevaartkunde, de aarde als bolvormig

mag gesteld worden, zoo zal echter in enkele gevallen, zooals wij later zien zullen, hare afgeplatte gedaante in aanmerking moeten worden genomen, waartoe de kennis van de betrekking, die er tusschen de genoemde Breedten bestaat, vereischt wordt.

Om hiertoe te geraken, noemen wij a en b de halve groote en kleine as van de ellips, y de ordinaat AD en x de middelpuntsabscis OD. Volgens de bekende eigenschap der ellips is

$$BD = \frac{b^2}{a^2}\, x.$$

Voorts is in de driehoeken OAD en BAD

$$\text{tang}\, \varphi' = \frac{y}{x} \text{ en } \text{tang}\, \varphi = \frac{y}{BD} = \frac{y\, a^2}{x\, b^2}$$

en dus

$$\text{tang}\, \varphi' = \frac{b^2}{a^2}\, \text{tang}\, \varphi$$

door welke formule de geocentrische Breedte eener plaats berekend kan worden, als de geographische gegeven is, en omgekeerd. Voor het gemak hebben wij in de hierbij gevoegde tabel het verschil der Breedten $\varphi - \varphi'$, voor het argument geographische Breedte, opgegeven van 0° tot 55°, voor een afplatting

$$= \frac{1}{299{,}1528}.$$

Voorbeeld der berekening.

De geographische Breedte zij 45°. Men vraagt de waarde van $(\varphi - \varphi')$?

log $b = 6{,}513369$	2 log $b = 3{,}026738$
„ $a = 6{,}514823$	C 2 log $a = 6{,}970345$
$\varphi = 45°$.	l. tang $= 0$
	l. tang $\varphi' = 9{,}997092$
	$\varphi' = 44°48'\,30''$

en dus

$$\varphi - \varphi' = 0°\,11'\,30''$$

zooals in de tabel wordt gevonden.

Dewijl de geographische Breedte grooter is dan de geocentrische, zoo moet de verbetering $(\varphi - \varphi')$ altijd van de geographische Breedte worden afgetrokken om de geocentrische te vinden, en omgekeerd.

Is b. v. de geographische Breedte 24° en vraagt men de geocentrische, dan heeft men:

Geographische Breedte	$= 24°\ 0'$
$\varphi - \varphi'$	$= \ \ 8'\,32''$
Gevraagde Geocentrische „	$= 23°\,51'\,28''$.

Geograph. Breedte.	φ — φ'	Geograph. Breedte.	φ — φ'	Geograph. Breedte.	φ — φ'	Geograph. Breedte.	φ — φ'
0° 20'	0' 8''	14° 0'	5' 23''	27° 40'	9' 28''	41° 20'	11' 25''
40	0 16	20	5 30	28 0	9 32	40	11 26
1 0	0 24	40	5 37	20	9 36	42 0	11 27
20	0 32	15 0	5 44	40	9 41	20	11 28
40	0 40	20	5 51	29 0	9 45	40	11 28
2 0	0 48	40	5 58	20	9 49	43 0	11 29
20	0 56	16 0	6 5	40	9 53	20	11 29
40	1 4	20	6 12	30 0	9 57	40	11 30
3 0	1 12	40	6 19	20	10 1	44 0	11 30
20	1 20	17 0	6 25	40	10 5	20	11 30
40	1 28	20	6 32	31 0	10 9	40	11 30
4 0	1 36	40	6 38	20	10 13	45 0	11 30
20	1 44	18 0	6 45	40	10 17	20	11 30
40	1 52	20	6 51	32 0	10 20	40	11 30
5 0	2 0	40	6 58	20	10 24	46 0	11 30
20	2 7	19 0	7 4	40	10 27	20	11 30
40	2 15	20	7 11	33 0	10 30	40	11 29
6 0	2 23	40	7 17	20	10 33	47 0	11 29
20	2 31	20 0	7 23	40	10 36	20	11 28
40	2 39	20	7 29	34 0	10 39	40	11 28
7 0	2 47	40	7 35	20	10 42	48 0	11 27
20	2 54	21 0	7 41	40	10 45	20	11 26
40	3 2	20	7 47	35 0	10 48	40	11 25
8 0	3 10	40	7 53	20	10 51	49 0	11 24
20	3 17	22 0	7 59	40	10 54	20	11 23
40	3 25	20	8 5	36 0	10 56	40	11 22
9 0	3 33	40	8 11	20	10 59	50 0	11 21
20	3 40	23 0	8 16	40	11 1	20	11 20
40	3 48	20	8 22	37 0	11 3	40	11 18
10 0	3 55	40	8 27	20	11 5	51 0	11 16
20	4 3	24 0	8 32	40	11 7	20	11 14
40	4 10	20	8 38	38 0	11 9	40	11 12
11 0	4 18	40	8 43	20	11 11	52 0	11 10
20	4 25	25 0	8 48	40	11 13	20	11 8
40	4 33	20	8 53	39 0	11 15	40	11 6
12 0	4 40	40	8 58	20	11 17	53 0	11 4
20	4 47	26 0	9 3	40	11 19	20	11 2
40	4 55	20	9 8	40 0	11 20	40	11 0
13 0	5 2	40	9 13	20	11 22	54 0	10 57
20	5 9	27 0	9 18	40	11 23	20	10 55
40	5 16	20	9 23	41 0	11 24	40	10 52

VI. GLOBES.

De globe is een bol, waarop de landen, zeeën, bergen, steden, enz. der aarde geplaatst zijn, zooals zij op haar oppervlak liggen. Stelt men zich een dergelijken bol voor, beweegbaar om een as, dan is deze de lijn, die de polen der aarde vereenigt, en de groote cirkel, dien men op de globe zoodanig teekent, dat hij in het vlak ligt, dat loodrecht door het midden van de as gaat, de equator.

Dewijl de ligging van een plaats op aarde door hare Lengte en Breedte bepaald wordt, zoo behoeft men slechts van zeker punt op den equator,

in een behoorlijke richting, een boog af te zetten, gelijk aan de Lengte der plaats, die men op de globe wil overbrengen, om den meridiaan dier plaats te bekomen. Past men nu verder op dien meridiaan, onder of boven den equator de Breedte af, dan zal de ligging van het bedoelde punt op de globe geheel bepaald zijn. De afplatting behoeft bij een dusdanige voorstelling niet in rekening gebracht te worden, omdat zij te gering is met betrekking tot de grootte van den straal der globe.

De globe geeft de nauwkeurigste voorstelling van de oppervlakte der aarde, doch zij heeft het nadeel, dat zij, wanneer men eenige uitvoerigheid verlangt, al spoedig te groot en daardoor onhandelbaar wordt.

VII. KAARTEN.

De kaarten zijn uitgedacht wegens het ongerief, dat het gebruik van globes opleverde. De vervanging der laatsten door de eersten kan echter slechts ten koste der nauwkeurigheid geschieden. Een kaart toch is een afbeelding van een grooter of kleiner deel van de aardoppervlakte op een plat vlak; en dewijl een bolvormige oppervlakte niet tot een plat vlak kan worden uitgelegd, zonder misvorming te ondergaan, zoo hebben de kaarten het nadeel, dat zij een verandering brengen in de onderlinge verhoudingen der afstanden van de punten of afmetingen der landen op het genoemde oppervlak, en alzoo onnauwkeurigheid in de voorstelling veroorzaken.

Men onderscheidt de kaarten vooreerst in algemeene en bijzondere. De eerstgenoemden stellen den geheelen of halven aardbol met zijne bijzonderheden voor; de laatstgenoemden slechts gedeelten van meerdere of mindere uitgebreidheid. De bijzondere kaarten zijn weder onderscheiden in land- en zeekaarten, naar gelang de voornaamste zorg aan de bijzonderheden van land of zee besteed is.

Wanneer men een kaart wenscht te maken, begint men met het teekenen van het net. Men geeft dien naam aan het stelsel van rechte of kromme lijnen, dat de meridianen en parallellen moet voorstellen. Door die lijnen wordt de kaart in een aantal ruiten verdeeld, waarin de verschillende bijzonderheden worden geteekend, hetzij door ze van een globe over te nemen, hetzij door ze, op hare Lengte en Breedte in kaart te brengen. Daar de samenstelling van het net dus de grondslag is, waarop de teekening berust, zoo moet men van de verschillende constructiën, die daartoe kunnen gebezigd worden, klaarblijkelijk die kiezen, waardoor de geringst mogelijke misvorming ontstaat, of waardoor het naast beantwoord wordt aan de bijzondere eischen, waaraan de te vervaardigen kaart voldoen moet. Is men namelijk, ten aanzien der land-

kaarten, gebonden aan het zooveel mogelijk behouden der bestaande evenredigheid in de grootte der landen, die op de kaart zijn afgebeeld, alsmede van hunne gedaante, zoo moet bij de zeekaarten nog aan andere eischen voldaan worden, gelijk wij straks zullen aantoonen, wanneer wij die kaarten meer bepaald tot het onderwerp onzer beschouwingen zullen maken.

a. ALGEMEENE KAARTEN.

Om een kaart te maken van het oppervlak der geheele aarde, verdeelt men deze door middel van een grooten cirkel, gewoonlijk een meridiaan, in twee helften, projecteert de oppervlakken op de beide zijden van het vlak van dien meridiaan, en plaatst de aldus verkregen halfronden naast elkander. Zulk een kaart vertoont zich als twee cirkels, die elkander aanraken en draagt den naam van wereldkaart of mappemonde. Het net van deze kaart kan op verschillende wijzen worden samengesteld; van twee der meest gebruikelijke constructiën zullen wij de beschrijving laten volgen.

1°. De orthographische projectie.

Laat men uit elk punt van de oppervlakte van den bol een loodlijn vallen op het vlak van den bovengenoemden meridiaan van doorsnede, en beschouwt men den voet van elke loodlijn, als de plaats in de kaart van het punt, waaruit zij is neergelaten, dan verkrijgt men de orthographische projectie van den bol. De parallellen zullen daarin door rechte lijnen, rechthoekig op de as, en de meridianen door elliptische bogen worden voorgesteld. Deze ellipsen hebben allen dezelfde groote as, doch verschillende kleine assen, waarvan de lengte toeneemt, naar gelang de meridianen, waartoe zij behooren, een kleineren hoek met het vlak van projectie maken. Deze projectie heeft het groote nadeel, dat de deelen van het oppervlak, die dicht bij het vlak van projectie gelegen zijn, zeer verkort worden overgebracht, zoodat de gedaante, die zij op de kaart verkrijgen, ten eenen male van hunne ware gedaante zal verschillen; zij is dan ook om deze reden weinig in gebruik. Een klein gedeelte van het aardoppervlak, juist in het midden der projectie gelegen, zal echter, volgens deze manier, behoorlijk kunnen worden voorgesteld. De oppervlakken van de zon en de maan zien wij bijna volkomen zoo, alsof zij orthographisch geprojecteerd waren op vlakken, die rechthoekig staan op de lijnen, die wij ons uit het oog naar de middelpunten dier hemellichten getrokken kunnen denken. Ook de planeten, door kijkers beschouwd, geven ons van deze projectie een voorstelling.

2°. De stereographische projectie.

Deze projectie, waarvan het gebruik veelvuldig voorkomt, wordt verkregen door al de punten van het oppervlak van den bol, door middel van rechte lijnen, te vereenigen met het uiteinde der middellijn, die rechthoekig door het vlak gaat, dat men als vlak van projectie heeft aangenomen; de doorsnijdingen van de genoemde lijnen met dit vlak zullen de stereographische projectie van het oppervlak des bols zijn. Is in het algemeen C, fig. 3, het middelpunt van een bol, waarvan wij den straal gelijk de eenheid nemen, O het oogpunt, op een afstand $OC = q$ van het middelpunt verwijderd, MN het vlak van projectie, loodrecht op de lijn $OA = p$, de cirkel PFG de eerste meridiaan en A de oorsprong der coördinaten, dan zullen de coördinaten $AB = x$ en $BD = y$ van een punt D, dat de projectie is van een punt E op den bol, volgens het geleerde in de beschrijvende meetkunst worden voorgesteld door de formules:

$$x = \frac{p (\cos \alpha \cos b \cos l - \sin b \sin \alpha)}{q + \sin \alpha \cos b \cos l + \sin b \cos \alpha}$$

$$y = \frac{p \cos b \sin l}{q + \sin \alpha \cos b \cos l + \sin b \cos \alpha}$$

als b de Breedte, l de Lengte van het punt E is en α den poolsafstand van het punt F beteekent.

Stellen wij nu, dat het oogpunt op den bol en het projectievlak in het middelpunt C geplaatst zij, dan wordt $AO = OC = 1$ en de genoemde formules zullen voor de stereographische projectie overgaan in:

$$x = \frac{\cos \alpha \cos b \cos l - \sin b \sin \alpha}{1 + \sin \alpha \cos b \cos l + \sin b \cos \alpha}$$

$$y = \frac{\cos b \sin l}{1 + \sin \alpha \cos b \cos l + \sin b \cos \alpha}.$$

Stellen wij verder $\alpha = 0$, d. i. het oogpunt in het uiteinde van de as, dan worden de laatstgevonden formules:

$$x = \frac{\cos b \cos l}{1 + \sin b} \text{ en } y = \frac{\cos b \sin l}{1 + \sin b},$$

die ook aldus kunnen geschreven worden:

$$x = \cos l \operatorname{tang} (45^0 - \tfrac{1}{2} b); \quad y = \sin l \operatorname{tang} (45^0 - \tfrac{1}{2} b)$$

welke vergelijkingen de waarden van x en y voor de stereographische polaire projectie, d. i. met het oogpunt in de pool, voorstellen.

Uit bovenstaande vergelijkingen volgt:

$$\frac{y}{x} = \text{tang}\, l$$
$$y = x\, \text{tang}\, l$$

en men ontwaart, dat de meridianen, waarvan deze uitdrukking de vergelijking is, rechte lijnen zullen zijn, die met de as der x een hoek l vormen en door den oorsprong der coördinaten gaan, welke oorsprong in het onderhavige geval de projectie der pool is.

Met betrekking tot de parallellen, merken wij op, dat dit cirkels zullen zijn, welker gemeenschappelijk middelpunt in P gelegen is, als P, fig. 4, de projectie der pool is. De verschillende stralen R, waarmede zij beschreven moeten worden, naar gelang van de Breedten, waarop zij liggen, worden ons gegeven door de formule:

$$R^2 = x^2 + y^2$$
$$= \cos^2 l\, \text{tang}^2 (45^0 - \tfrac{1}{2} b) + \sin^2 l\, \text{tang}^2 (45^0 - \tfrac{1}{2} b)$$

of, dewijl $\cos^2 l + \sin^2 l = 1$ is:

$$R^2 = \text{tang}^2 (45_0 - \tfrac{1}{2} b)$$
$$R = \text{tang}\, (45^0 - \tfrac{1}{2} b).$$

zoodat voor den equator $R = 1$ zal zijn, dewijl $b = 0$ is.

Beschrijven wij dus uit P als middelpunt een cirkel, met een straal $PA = 1$, dan zullen PA, PB, PC, enz. de meridianen voorstellen, die op 0°, 30°, 60° Lengte enz. liggen, als wij de bogen AB, AC enz. van A te beginnen, gelijk aan 30°, 60° enz. maken.

Richten wij vervolgens, in het uiteinde der middellijn AA', de loodlijn AH op, dan zullen op die lijn de waarden van R kunnen afgepast worden, die men verkrijgt, door in het punt P hoeken $APM = (45° - \tfrac{1}{2} b)$ af te zetten en de beenen te verlengen tot zij de lijn AH snijden. Alzoo wordt b. v. de straal voor den parallecirkel op 30° gevonden, door den hoek $APM = 45° - 15° = 30°$ te nemen; de afstand AM zal in dit geval de gevraagde straal zijn.

Een andere manier om den straal van den parallelcirkel te construeeren, die op een gegeven Breedte ligt, bestaat hierin, dat men het punt bepaalt, waarin de parallel de lijn AP zal snijden. Hiertoe zet men van A een boog uit, gelijk aan de gegeven Breedte en vereenigt het uiteinde van dien boog door een rechte lijn met het punt D, welk punt gelegen is in het uiteinde van de middellijn, die AA' rechthoekig snijdt; de doorsnede van deze lijn met AP zal het gevraagde punt zijn. Is dus boog AE, fig. 4, gelijk aan 30°, dan doet DE, in het punt gemerkt 30°, het punt kennen, waardoor de gevraagde parallel zal loopen. Zooals men lichtelijk zal inzien, is P 30° de tangens van den hoek EDP. Deze hoek, gemeten door den halven boog, waarop hij staat, is gelijk aan $\tfrac{1}{2}(90° - b) = (45° - \tfrac{1}{2} b)$ en de constructie voldoet bijgevolg aan de voorwaarde $R = \text{tang}\, (45° - \tfrac{1}{2} b)$.

Een bijzonderheid, die wij niet onopgemerkt mogen voorbijgaan, is deze, dat ook het halfrond, dat tusschen het oogpunt en het vlak van projectie gelegen is, op deze wijze kan geprojecteerd worden. Bij afbeeldingen van den hemel, waartoe hoofdzakelijk van de polaire projectie gebruik gemaakt wordt, vindt bovenstaande opmerking hare toepassing en strekt men de kaart meestal nog iets verder uit dan den equator. Wij zullen later de inrichting van een dergelijke afbeelding, onder de benaming van sterrekaart, nader leeren kennen.

Het zal wel geen betoog behoeven, dat men niet alleen een geheel halfrond, maar ook kleinere deelen van het aardoppervlak, door deze projectie kan voorstellen. Zoo zal voor afbeeldingen van de poolstreken deze projectie met vrucht aangewend worden, en de gedaante der landen, die op hooge Breedte gelegen zijn, beter dan door eenige andere worden voorgesteld.

Denken wij ons het oogpunt in den equator geplaatst en den eersten meridiaan als vlak van projectie, dan verkrijgen wij de zoogenaamde stereographische equatoriale projectie, die inzonderheid voor wereldkaarten de meest gebruikelijke is.

Dewijl voor dit geval $\alpha = 90^\circ$ is, gaan de vroeger gevonden waarden van x en y over in:

$$(A) \quad . \quad . \quad . \quad x = \frac{-\sin b}{1 + \cos b \cos l} \text{ en } y = \frac{\cos b \sin l}{1 + \cos b \sin l},$$

waarbij wij gemakshalve de Lengte blijven tellen van den meridiaan, die door het oog gaat, en alzoo de eerste meridiaan op 90° Lengte gesteld wordt.

Elimineert men uit deze vergelijkingen de Breedte b, dan verkrijgt men voor de vergelijking der projectie van eenigen meridiaan:

$$y^2 + x^2 + 2y \operatorname{cotg} l - 1 = 0$$

welke vergelijking die is van een cirkel, waarvan de straal R_0 is:

$$R_0 = \frac{1}{\sin l},$$

en waarvan het middelpunt bepaald wordt door de coördinaten

$$x' = 0 \quad \text{en} \quad y' = -\operatorname{cotg} l.$$

Voor den eersten meridiaan is

$$l = 90^\circ \text{ en bij gevolg } R_0 = 1.$$

Beschrijven wij dus uit O, fig. 5, als middelpunt, een cirkel $EP'QP$, met een straal $OE = 1$, dan zal deze cirkel den eersten meridiaan voorstellen en de grens van de kaart zijn.

Voor den meridiaan, die door het oogpunt gaat, is

$$l = 0 \text{ en bij gevolg } R_0 = y' = \infty, \; x' = 0;$$

de lijn PP zal mitsdien als de projectie van den bedoelden meridiaan kunnen worden aangemerkt.

Elimineert men uit de vergelijkingen (A) de Lengte l, dan verkrijgt men voor de vergelijking der projectie van eenigen parallelcirkel:

$$y^2 + x^2 + \frac{2x}{\sin b} + 1 = 0,$$

welke vergelijking ook die is van een cirkel, waarvan de straal $R'_0 = \text{cotg}\, b$ is en het middelpunt bepaald wordt door de coördinaten

$$x'' = \frac{-1}{\sin b} \quad \text{en} \quad y'' = 0.$$

Voor den equator is $b = 0$ en dus

$$R'_0 = x'' = \infty \quad \text{en} \quad y'' = 0.$$

Om dus den equator in de kaart te teekenen, behoeven wij slechts de lijn EQ loodrecht te trekken op het midden van PP'.

Ook zonder de bovenstaande vergelijkingen zoude men tot het besluit gekomen zijn, dat de projectiën van den equator en den meridiaan, waarin het oogpunt ligt, rechte lijnen zijn. Wij behoeven echter de formules voor R_0, R'_0, y' en x'' om den meridiaan en de parallel, die op een gegeven Lengte en Breedte liggen in de kaart te construeeren. Ziehier hoe men dit op een eenvoudige wijze kan bewerkstelligen.

Men richte in P de loodlijn PN op en verdeele den boog QP, b. v. in drie gelijke deelen, dan zullen de bogen Q 30 en Q 60 de maat zijn van de hoeken QOA en QOB, die wij ons in het middelpunt O gevormd kunnen denken.

Klaarblijkelijk is nu

$$PA = \text{cotg}\, 30^0 \qquad PB = \text{cotg}\, 60^0$$
$$OA = \text{cosec}\, 30^0 \qquad OB = \text{cosec}\, 60^0$$

en wij hebben dus, ter weerszijden van O, op de lijn EQ afstanden

$$PA = \text{cotg}\, 30^0 \quad \text{en} \quad PB = \text{cotg}\, 60^0$$

af te zetten, en uit de uiteinden cirkels te beschrijven met stralen

$$OA = \text{cosec}\, 30^0 \quad \text{en} \quad OB = \text{cosec}\, 60^0$$

om de meridianen te verkrijgen, die op 30° en 60° afstands van den meridiaan PP', of wat op hetzelfde neerkomt, die op 30°, 60°, 120° en 150° Lengte gelegen zijn.

Nemen wij, ter weerszijden van O, op de lijn PP' afstanden

$$OA = \text{cosec}\, 30^0 \quad \text{en} \quad OB = \text{cosec}\, 60^0$$

en beschrijven wij, uit de uiteinden, cirkels met stralen

$$PA = \text{cotg}\, 30^0 \quad \text{en} \quad PB = \text{cotg}\, 60^0$$

dan zullen hierdoor de parallellen van 30° en 60° N. en Z. Breedte verkregen worden.

Een meer eenvoudige constructie is deze:

Men verdeele den cirkel *EPQP'*, fig. 5, in twaalf gelijke deelen, dan zal ieder deel *EC*, enz. 30° bevatten. Vereenigt men nu *C* en *Q* door een rechte lijn, dan zal in het punt *a*, ter plaatse waar de lijn *CQ* de lijn *PP'* snijdt, het punt gevormd worden, waardoor de parallel moet gaan, die op 30° Breedte ligt, en er zullen dus van den gevraagden cirkel drie punten bekend zijn, zoodat men genoegzame gegevens bezit om dien cirkel te construeeren.

Op overeenkomstige wijze zal de doorsnede van *CP'* met *EQ* het derde punt van den meridiaan *P* 30° *P'* bepalen, en zal ook deze cirkel gemakkelijk te construeeren zijn.

Ook voor de stereographische equatoriale projectie geldt de vroeger gemaakte opmerking, dat afzonderlijke landen door deze constructie kunnen worden voorgesteld. Neemt men in aanmerking, dat de projectie meer en meer van de ware gedaante van het land afwijkt, naar gelang het op den bol verder verwijderd ligt van de lijn, die het oog met het middelpunt van den bol vereenigt, dan zal men bij voorkeur tot het afbeelden van landen, die in de nabijheid van den equator gelegen zijn, van de equatoriale projectie gebruik maken.

De voordeelen, aan de stereographische projectie verbonden, zijn:

1° al de cirkels van den bol gaan op de kaart over, als cirkels of als rechte lijnen;

2° de cirkels der kaart snijden elkander onder dezelfde hoeken, welke de cirkels op den bol, waarvan zij de projectiën zijn, met elkander maken.

Door de eerste eigenschap is de constructie van het net der kaart zeer gemakkelijk, terwijl de tweede het bewijs in zich sluit, dat elk klein gedeelte van het oppervlak van den bol gelijkvormig is met zijne projectie, dewijl dit gedeelte, dat men als een plat vlak kan beschouwen, in een aantal oneindige kleine driehoekjes kan verdeeld worden, die, uithoofde van de gelijkheid der hoeken, gelijkvormig zijn met hunne projectiën.

Beide eigenschappen, te zamen genomen, verklaren de voorkeur, die men tot het ontwerpen van land- en hemelkaarten aan de stereographische projectie schenkt.

b. *Bijzondere Kaarten.*

Deze kaarten dienen, gelijk reeds gezegd is, om een gedeelte van het oppervlak der aarde, b. v. een werelddeel of een der landen daarvan voor te stellen.

Men tracht in het algemeen, bij de samenstelling, wel zooveel mogelijk

den vorm van het oorspronkelijke te behouden, doch hoofdzakelijk zorgt men, dat de verschillende betrekkelijke afstanden niet veranderen.

De volgende methode, gebezigd voor het samenstellen van de groote kaart van Frankrijk, schijnt zeer doeltreffend te wezen. Zij MN, fig. 6, het land op de globe, dat men in kaart wenscht te brengen. Men trekt over het midden A, den meridiaan PAG en de parallel DAE, en op de kaart de rechte lijn $O'C'$, die den eerstgenoemden cirkel zal voorstellen. Ten einde de parallel DAE over te brengen, trekt men een raaklijn aan den meridiaan, in het punt A, en verlengt haar tot zij de verlengde as van de globe in O snijdt. Neemt men nu $O'A' = OA$ en beschrijft men uit O', met dien afstand als straal, een cirkelboog $D'A'E'$, dan zal deze de parallel DAE voorstellen. Om de andere parallellen te trekken, zet men op $A'O'$, uit A', afstanden $A'F'$, $A'G'$ enz. af, gelijk aan AF, AG, enz. en beschrijft uit O' als middelpunt cirkelbogen door de punten F', G', enz. Op die parallellen zet men verder stukken $A'a$, $A'a'$, $F'f$, $F'f'$ enz. af, gelijk aan Ab, Ab', Fe, Fe' enz. en beschrijft door de verschillende deelpunten kromme lijnen, die alsdan de meridianen der kaart zullen zijn. Als men op deze wijze handelt, zal de oppervlakte van het land, slechts in geringe mate veranderd, worden overgebracht. Denkt men zich namelijk de meridianen en de parallellen dicht bij elkander getrokken, dan is de inhoud van elk ruitje der kaart gelijk aan dien van het overeenkomstige ruitje der globe, en gevolgelijk ook evenredig met dien van de overeenkomstige ruit op aarde. Hieruit mag men tevens besluiten, dat ook de afstanden in de kaart evenredig zijn met de overeenkomstige op aarde, en dewijl bovendien de hoeken, waaronder de meridianen en parallellen in de kaart elkander snijden, bijna recht zijn, zoo zal de oppervlakte van het land in de kaart slechts een geringe misvorming hebben ondergaan. Alleen aan de zijden der kaart, zal de voorstelling eenigermate afwijken van de werkelijke gedaante. Geeft men aan de kaart een groote uitgestrektheid, dan wordt de bedoelde afwijking spoedig merkbaar.

Voor nadere bijzonderheden over dit onderwerp, verwijzen wij den lezer o. a. naar het werk van J. J. LITTROW, Chorographie enz., vertaald en vermeerderd door R. LOBATTO.

Over de zeekaarten wordt in het volgende hoofdstuk gehandeld.

TWEEDE HOOFDSTUK.

ZEILAADJES.

I. ALGEMEENE BEPALINGEN.

Door *zeilaadjes* verstaat men gewoonlijk de oplossing van het vraagstuk: *de plaats te bepalen, waar men zich bevindt, met betrekking tot het punt, van waar men is uitgegaan, wanneer er in zekere richting een bekende afstand is afgelegd.*

De plaats, van waar men vertrekt, wordt bij bekorting de *afgevaren* plaats, hare Breedte en Lengte de *afgevaren* Breedte en Lengte genoemd. De afstand, dien men heeft afgelegd, uitgedrukt door het aantal gezeilde Duitsche of geographische mijlen, draagt den naam van *verheid*, de richting dien van den *koers*, terwijl het punt, waar men zich bevindt, door de benamingen van *bekomen* Breedte en Lengte wordt aangeduid.

De *veranderde* Breedte en Lengte worden berekend uit den koers en de verheid; zij ontleenen hare benamingen aan den koers en zijn de verschillen tusschen de afgevaren en de bekomen Breedten en Lengten.

Het tijdsverloop, dat men op zee als eenheid aanneemt, is het etmaal; het wordt gerekend van middag tot middag en is verdeeld in zes wachten, die bij gevolg elk vier uren bevatten. De wachten zijn weder verdeeld in *glazen* of halve uren en volgen elkander op in de onderstaande orde:

Achtermiddag	van	12ᵘ	tot	4ᵘ	's namiddags.
Platvoet	„	4	„	8	„
Eerste wacht	„	8	„	12	„
Hondenwacht	„	12	„	4	's voormiddags.
Dagwacht	„	4	„	8	„
Voormiddag	„	8	„	12	„

De gezeilde koersen en verheden worden gedurende iedere wacht op de wachtlei, en terstond na de overgave der wacht, in het scheepsjournaal zorgvuldig aangeteekend, om daarmede, tegen den volgenden middag. het besтek op te maken, dat is: den gedurende het etmaal gezeilden algemeenen of generalen koers en de verheid, benevens de bekomen Breedte en Lengte te berekenen.

II. WERKTUIGEN BIJ DE ZEILAADJES IN GEBRUIK.

De hulpmiddelen, waarvan men zich aan boord hoofdzakelijk bedient, om zich aangaande den koers en de verheid te vergewissen, zijn het kompas en de log, welke werktuigen, ieder afzonderlijk, meer van nabij beschouwd moeten worden.

A. HET KOMPAS.

Het kompas is een werktuig waarmede hoeken gemeten moeten worden in een horizontaal vlak. Men tracht dus een juiste voorstelling van den horizon, en een vast aanvangspunt van telling te verkrijgen. Dit laatste wordt door de bekende eigenschap der magneetnaalden, dat zij, vrij opgehangen, zich met hare assen zullen plaatsen in de richting van den magnetischen meridiaan, gemakkelijk gemaakt.

Een magneetnaald, of een stel magneetnaalden wordt nu op een spitse punt, de kompaspen genoemd, horizontaal in evenwicht opgehangen, en hieraan wordt verbonden een papieren schijf of rand, die in 360° en tevens in 32 streken, elk dus 11° 15′ bevattende, verdeeld is. De streken zijn in kwartstreken onderverdeeld. De zoo ingerichte papieren schijf of rand stelt volkomen den horizon voor, en draagt den naam van kompasroos.

Om bij een hellend schip den horizontalen stand der roos te behouden wordt het geheel besloten in een doos, die in beugels naar de wijze van Cardanus is opgehangen. Dit ophangen geschiedt, door middel van een met de kompasroos concentrischen ring *A* fig. 7. De ring is voorzien van tappen *bb*, die hangen in aan het nachthuis *B* bevestigde pannen; de tappen *cc*, waarvan ook de doos *C* voorzien is, worden door den ring *A* gedragen, zoodat zij rechthoekig komen van de tappen *bb*. De doos moet van een zelfstandigheid worden vervaardigd die geen magneetkracht kan verkrijgen, en heet de kompasketel.

Behalve de storingen waaraan de kompasnaald is blootgesteld, ten gevolge van het ijzer bij den bouw van het schip gebezigd, waarover wij later afzonderlijk zullen handelen, zal, volgens bovengenoemde eigenschap,

een bepaald deel der roos altijd denzelfden stand innemen ten opzichte van den magnetischen meridiaan.

De kompaspen is van gehard staal, irridium platina of aluminium brons, de roos rust op haar door middel van de kompasdop. Deze is gewoonlijk een agaat of chrijsoliet, die aan de roos is bevestigd; zij is van een komvormige, zuiver geslepen uitholling voorzien en past in een koperen van binnen kegelvormig uitgedraaiden knop.

De verdeeling der kompasroos wordt aan de boven- of onderzijde aangebracht, naar gelang van de plaats waar het kompas moet worden gebruikt. Het nulpunt der verdeeling is tevens met Noord geteekend en dit komt overeen met de as der magneetnaald of van het stel magneetnaalden.

De hoek, die de kiel van het schip maakt met de Noord- en Zuidlijn, is de koers van het schip. Om dezen hoek dadelijk te kunnen aflezen is bij de stuurkompassen, die dienen om den roerganger steeds den te volgen koers voor oogen te houden, een streep in den kompasketel getrokken, die, loodrecht op het horizontale vlak verlengd, de kiel van het schip zal snijden en de zeilstreep genoemd wordt. Bij de peilkompassen moet men den hoek kunnen aflezen, dien zeker voorwerp in den horizon of zijne projectie, indien het zich boven den horizon bevindt, maakt met de Noord- en Zuidlijn der roos. De kompassen, die voor peilingen of tot het controleeren der andere kompassen dienen, moeten dus van een peiltoestel voorzien zijn.

Om ook bij nacht de kompassen te kunnen gebruiken, moeten ze met een nachtelijke verlichting zijn toegerust. Bij de vaste kompassen aan dek is de inrichting der lampen zoodanig dat zij alleen de roos en de zeilstreep verlichten. Bij de standaard-peilkompassen is de verlichting van onderen, bij de stuurkompassen van boven aangebracht. De kompasketel wordt naar de ophangwijze van Cardanus in het nachthuis geplaatst, dat op eene, van te voren daarvoor aangewezen plaats, onwrikbaar wordt bevestigd, opdat de zeilstreep nauwkeurig in de richting van het vlak door kiel en stevens gebracht, blijve.

De thans bij de Nederlandsche Marine ingevoerde kompassen zijn:

1°. Standaard-peilkompassen voor gewone schepen en monitors.
2°. Standaard-peilkompassen voor ram- en ramtorenschepen.
3°. Peil-stuurkompassen voor stoomkanonneerbooten en riviervaartuigen.
4°. Mastzeilkompassen.
5°. Stuurkompassen N°. 1 en N°. 2.
6°. Vloeistof-stuurkompassen.
7°. Vloeistof-sloepskompassen.
8°. Gewone peilkompassen.
9°. Gewone kompassen met koperen ketel.
10°. Gilberts-Azimuth-kompassen.

Behalve deze instrumenten van nieuwere constructie zijn nu nog op vele schepen in gebruik:

De gewone stuurkompassen, de vloeistof-sloepskompassen en de oude sloeps- of peilkompassen, alle met één naald, die in inrichting overeen komen met de sub 6, 7 en 8 later beschrevene, terwijl van de nieuw ingevoerde soorten hier een beschrijving volgt en wij voor meer uitgebreide beschouwingen over dit onderwerp verwijzen naar het werk van Dr. P. J. KAISER, verificateur der Rijks-Zee-instrumenten te *Leiden*, ten titel voerende: „Theorie en beschrijving der thans bij de Nederlandsche „Marine in gebruik zijnde zeevaartkundige werktuigen", en dat in zes of zeven afleveringen het licht zal zien.

1°. De standaard-peilkompassen voor gewone schepen en monitors.

In plaats van het tot dusverre als standaard- en peilkompas gebruikte Gilberts-Azimuth-kompas, wordt op de nieuwe schepen dit kompas van een nieuwe constructie verstrekt. Zij ontvangen met hun nachthuis een vaste plaats, die, zoolang het schip in dienst blijft, niet gewijzigd mag worden.

De deelen waaruit het instrument bestaat zijn:

a. de peiltoestel, *b.* de kompasroos, *c.* de kompasketel, *d.* het nachthuis.

a. *De Peiltoestel*,

is een koperen kruis, waarvan de eene arm raamvormig is uitgesneden. Het kruis is in het midden van een gat voorzien, dat op een pen past, welke op het midden van het dekglas van den kompasketel is bevestigd, terwijl het rust op vier steunen of pooten, die aan de uiteinden zijn aangebracht, waarvan twee schroeven met kartelkoppen zijn, om de pooten langer of korter te kunnen maken. Aan de uiteinden van den uitgesneden arm over welks midden een fijne zwarte draad is gespannen, zijn de vizieren aangebracht, die beweegbaar zijn om scharnieren, zoodat men ze op den arm kan nederleggen of loodrecht daarop opklappen. Het eene vizier bevat een fijne lange gleuf, het andere een fijnen zwarten draad; het eerste noemt men het keepvizier, terwijl het andere het draadvizier genoemd wordt. Aan het laatstgenoemde is een spiegeltje verbonden, dat draaibaar is om een horizontale as en dient om de beelden van hemellichten te kunnen waarnemen. Aan het keepvizier is een verschuifbaar gekleurd glas aangebracht, om het gereflecteerde zonlicht te kunnen temperen. Zal nu de peiltoestel, wanneer men op een voorwerp richt, d. i. door het keepvizier ziende, het voorwerp brengt in den draad van het draadvizier, ons dadelijk den hoek doen kennen, die dit

voorwerp maakt met de Noord- en Zuidlijn der roos, dan moet het vóldoen aan de volgende eischen:

Het keepvizier, de horizontale en de vertikale draad, moeten in een zelfde plat vlak liggen,

dit vlak moet, als de peiltoestel op het kompas geplaatst is, altijd vertikaal zijn, en

de normaal op het spiegelvlak moet in alle standen evenwijdig zijn aan het vlak door de vizieren gedacht.

Het onderzoek of de peiltoestel aan deze vereischten voldoet, geschiedt voordat het instrument aan boord verstrekt wordt, maar er kunnen zich omstandigheden voordoen, dat een onderzoek ter contrôle noodig is, b. v. indien het instrument veel gebruikt is. Dit onderzoek kan, met behulp van een schermpje van karton of koper met een kleine opening gemakkelijk volkomen worden volbracht.

Men draait daartoe de peiltoestel met het draadvizier naar zich toe en richt hem, door de opening in het schermpje ziende, zoodanig, dat de vertikale draad den horizontalen dekt, hierna plaatst men zich achter het keepvizier en, als dit door de beide elkander dekkende draden midden door wordt gedeeld, zal het met de beide draden in hetzelfde platte vlak liggen. Kan men de beide draden niet tot dekking brengen, dan ligt natuurlijk de vertikale draad niet met den horizontalen in één plat vlak en moet het draadvizier een weinig versteld worden.

De as waarom het draadvizier bewogen wordt, moet loodrecht staan op het vlak, dat door de vizieren gaat. Men kan dit onderzoeken door het draadvizier om te klappen, zoodat de draden evenwijdig aan elkander zijn en nu te zien door het keepvizier of het uiteinde van den vizierdraad samenvalt met den draad in het raam, in welk geval de as aan den gestelden eisch beantwoordt.

Nu kan men onderzoeken of het spiegeltje goed gesteld is, d. i. of de as waarom het draait, loodrecht staat op het vlak door de vizieren gedacht en of het spiegeltje evenwijdig is aan die as. Wordt aan deze beide eischen voldaan, dan zal elke normaal op den spiegel evenwijdig zijn aan de viziervlakte.

Men klapt daartoe het draadvizier en den spiegel beide op, zoodat zij loodrecht staan op het raam en plaatst zich achter het keepvizier. Is de spiegel nu niet juist geplaatst, dan zal men het beeld van de keep in den spiegel niet zien samenvallen met den draad van het draadvizier, en de afstand van beide geeft ons de fout, die men in een peiling zoude maken bij dezen loodrechten stand des spiegels. Men kan nu op de spiegelvlakte een verdeelde schaal bevestigen, en vindt die fout in boogminuten uitgedrukt dadelijk uit den alzoo gevormden rechthoekigen driehoek, waarin wij a den afstand noemen, die op de schaal tusschen de beelden van keep en draad is gemeten, b den afstand van keepvizier tot spiegel,

en x de fout in de peiling. Immers als de waarneming gedaan is in een richting evenwijdig aan den draad in het raam, 't geen door merken op keepvizier en spiegel gemakkelijk verkregen wordt, zal: $tg\ x = \frac{a}{b}$ zijn.

De as, waarom het spiegeltje bewogen wordt, moet evenwijdig zijn aan het spiegelvlak en aan de as van het draadvizier.

De hoek, die het spiegelvlak maakt met de as waarom het spiegeltje bewogen wordt, kan, even als voor den hoek x hierboven is aangetoond, worden bepaald. Men draait daartoe den spiegel 180° om, keert het draadvizier naar zich toe, plaatst zich met het genoemde schermpje op den zelfden afstand van het draadvizier als waarop bij de bepaling van x het keepvizier van den spiegel was verwijderd, en brengt nu, door het gaatje ziende, den draad in het midden der keep. Men kan nu op den spiegel door middel van dezelfde schaal als bij de bepaling van x gebezigd werd, den afstand afmeten tusschen den draad en het beeld van het gaatje in het schermpje, en, als nu a en b hetzelfde voorstellen als boven, vindt men de fout x_1, uit de vergelijking $tg\ x_1 = \frac{a}{b}$.

Door nu $x = x_1$ te maken, door middel van het schroefje aan den achterkant van het spiegelhuisje, wordt de mechanische as, waarom de spiegel beweegt, evenwijdig aan de spiegelvlakte.

Is alzoo de spiegelvlakte evenwijdig gemaakt aan de as, dan moet die as nog loodrecht staan op het vlak door de vizieren gedacht. Hiertoe klapt men draadvizier en spiegel op, dan moeten, als de waarnemer zich achter het keepvizier plaatst, de beelden van keep en draad in den spiegel elkander dekken. Geschiedt dit niet, dan kan men den spiegel rectificeeren door de beide schroeven, die de verbinding tusschen het scharnier van den spiegel en het vizierraam daarstellen, los te maken, en aan de zijde waar het beeld der keep zich vertoont, een strookje papier te brengen tusschen vizierraam en scharnier. Hierna klapt men het draadvizier om en den spiegel op, en verkrijgt nu samenvalling der beelden, zoo die niet bestaat, door het scharnier een weinig te bewegen evenwijdig aan het raam. Na deze rectificatiën zal de spiegel geheel den vereischten stand hebben ontvangen, en heeft men nog slechts te zorgen dat het vlak door de vizieren gedacht, loodrecht staat op het dekglas van den kompasketel. Dit kan men gemakkelijk onderzoeken door waar te nemen of het door het dekglas gereflecteerde beeld van den vertikalen draad den horizontalen draad bedekt, als men door de keep ziet. Een fout in dien stand is door middel der schroeven met kartelkoppen aan den gesloten arm van het kruis dadelijk te herstellen. Ziet men twee teruggekaatste beelden, dan zijn de boven- en ondervlakte van het dekglas niet evenwijdig, maar kan men die beide beelden doen samenvallen door den peiltoestel in horizontalen zin over de pen te bewegen, en bij dien stand rectificeert men den

draad. Op praktische wijze kan men dus in allen deele den peiltoestel zeer voldoende rectificeeren; theoretisch kunnen wij den invloed van den onjuisten stand van het spiegeltje op de peiling van hemellichten op de volgende wijze vinden:

Zij *abcd*, fig. 12, de terugkaatsende oppervlakte van het spiegeltje, *TS* de normaal op dat vlak en *pp'* de as, waarom de spiegel draait.

Zij verder *ZS* een lichtstraal, b. v. van de zon afkomstig, *SO* de teruggekaatste straal en *O* het oog; dan zullen, volgens de wetten der terugkaatsing van het licht, *ZS*, *TS* en *SO* in één plat vlak liggen, de hoeken *ZST* en *TSO* aan elkander gelijk zijn, en het lichtende punt zal in de richting van *SA* gezien worden.

Laat in fig. 13 de cirkel *ABEOC* den horizon en *T* het toppunt voorstellen. Verlengen wij de lijnen *ZS*, *TS*, *OS*, *SA* en *pp'* uit de vorige figuur, tot zij den hemel in de punten *Z*, *T*, *O*, *A* en *p* snijden, dan kunnen wij door de vier eerstgenoemde punten den boog eens grooten cirkels brengen, dewijl die punten met het middelpunt van den bol in één plat vlak liggen. Trekken wij nog de bogen van groote cirkels *pO*, *pT*, *T'ZC* en *pE*, de beide laatsten loodrecht op den horizon.

Was de as van het spiegeltje behoorlijk gericht, dan moest $pO = 90°$ en hoek *pOE* nul zijn, en liep het spiegelende vlak evenwijdig aan de as, zooals een vereischte is, dan zoude ook $pT = 90°$ zijn, zooals lichtelijk uit de beschouwing van fig. 12 is op te maken, als men namelijk in aanmerking neemt, dat *pO* de maat van den hoek *pSO* en *pT* die van den hoek *pST* is.

Heeft echter het spiegeltje een onjuisten stand, zoodat $pT = m$, $pO = n$ en hoek $pOE = \alpha$ de bovengenoemde waarden vervangen, dan zal, dewijl *C* de streek van den horizon is, waarin de zon werkelijk staat, en *A* de streek is, waarin zij door terugkaatsing in het spiegeltje gepeild wordt, de hoek $AT'C = x$ de fout der peiling zijn, die uit dien onjuisten stand voortvloeit.

Zij ter bekorting:

$$OT = TZ = y$$

de hoogte der zon $CZ = h$

$$pE = \alpha'$$

hoek $AOT = \beta$,

dan is in den bolv. driehoek *ZT'O*, waarvan de zijde $TO = 90°$ is:

$$\cos\beta = \frac{\cos ZT - \cos OZ \cos OT}{\sin OZ \sin OT} = \frac{\sin h}{\sin 2y}$$

$$\sin\beta = \frac{\sin ZT}{\sin OZ}\sin OTZ = \frac{\cos h}{\sin 2y}\sin x$$

$$\cos 2y = \cos OT \cos TZ + \cos OTZ \sin OT \sin TZ = -\cos h \cos x.$$

In den bolv. driehoek pOT heeft men:

$$\cos Tp = \cos OT \cos Op + \cos TOp \sin OT \sin Op$$

of:

$$\begin{aligned}\cos m &= \cos y \cos n + \sin y \sin n \cos (90^0 - \alpha + \beta) \\ &= \cos y \cos n + \sin y \sin n (\sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta).\end{aligned}$$

Substitueeren wij hierin de bovengevonden waarden van $\sin \beta$ en $\cos \beta$ dan wordt

$$\cos m = \cos y \cos n + \frac{\sin y}{\sin 2y} \sin n (\sin \alpha \sin h - \cos \alpha \cos h \sin x)$$

$$\cos m = \cos y \cos n + \frac{\sin n}{2 \cos y} (\sin \alpha \sin h - \cos \alpha \cos h \sin x)$$

waaruit

(I) . . . $\cos \alpha \cos h \sin x \sin n = 2 \cos^2 y \cos n - 2 \cos y \cos m + \sin \alpha \sin h \sin n.$

De gevonden uitdrukking

$$\cos 2y = - \cos h \cos x$$

geeft ons:

$$\begin{aligned}2 \cos^2 y &= 1 - \cos h \cos x \\ &= 1 - \cos h + 2 \cos h \sin^2 \tfrac{1}{2} x \\ &= 2 \sin^2 \tfrac{1}{2} h + 2 \cos h \sin^2 \tfrac{1}{2} x\end{aligned}$$

(II) . . . . $\cos^2 y = \sin^2 \tfrac{1}{2} h + \cos h \sin^2 \tfrac{1}{2} x$

waaruit wij ontwaren, dat $\cos y$ nagenoeg gelijk is aan $\sin \frac{1}{2} h$, omdat x in het algemeen zeer klein is. Ook de beschouwing van fig. 13 zou ons tot dat besluit geleid hebben. Immers is ZC op zeer weinig na gelijk aan ZA, en dus ongeveer $h = 180^\circ - 2y$, waaruit volgt: $\sin \frac{1}{2} h = \cos y$. Schrijven wij dus in (I) voor $\cos y$, $\sin \frac{1}{2} h$, dan wordt:

$$\cos \alpha \cos h \sin x \sin n = 2 \sin^2 \tfrac{1}{2} h \cos n - 2 \sin \tfrac{1}{2} h \cos m + \sin \alpha \sin h \sin n$$

of, als wij de complementen van m en n invoeren, die m' en n' noemen, en in aanmerking nemen, dat $\sin \alpha \sin n = \sin pE = \sin \alpha'$ is:

$$\cos \alpha \cos h \sin x \cos n' = 2 \sin^2 \tfrac{1}{2} h \sin n' - 2 \sin \tfrac{1}{2} h \sin m' + \sin h \sin \alpha'.$$

Nu zijn α', x, m' en n' kleine grootheden. Wij mogen dus zonder merkbare fout de cosinussen dier bogen gelijk aan de éénheid, en de bogen voor de sinussen nemen. Hierdoor wordt

$$x \cos h = 2 \sin^2 \tfrac{1}{2} h \, n' - 2 \sin \tfrac{1}{2} h \, m' + \alpha' \sin h,$$

waaruit ten slotte

(III) . . . . $x = \alpha' \operatorname{tang} h - \dfrac{2 \sin \frac{1}{2} h}{\cos h} m' + \dfrac{2 \sin^2 \frac{1}{2} h}{\cos h} n'.$

Noemen wij

$$\operatorname{tang} h \;.\;.\;.\; A$$

$$\frac{2\sin\frac{1}{2}h}{\cos h} \;.\;.\;.\; B$$

$$\frac{2\sin^2\frac{1}{2}h}{\cos h} \;.\;.\;.\; C.$$

dan zullen wij voor verschillende hoogten h, de waarden van A, B en C kunnen berekenen, en het onderstaande tafeltje aldus invullen:

h	A	B	C
0°	0,000	0,000	0,000
5	0,087	0,088	0,004
10	0,176	0,177	0,015
15	0,298	0,270	0,035
20	0,364	0,370	0,064
25	0.466	0,478	0,103
30	0,577	0,598	0,155
35	0,700	0,734	0,221
40	0,839	0,893	0,305
45	1,000	1,080	0,413
50	1,192	1,315	0,554
55	1,445	1,610	0,744
60	1,732	2,000	1,000

De fout x zal dan worden voorgesteld door de formule:

(IV) . . . . $x = A\alpha' - Bm' + Cn'$

waarbij een positieve waarde van x aanwijst, dat de zon rechts staat van de richting, waarin zij gepeild wordt, en omgekeerd.

Men zal hierbij uit de waarnemingen, de grootheden a', m' en n', die den stand der as $p\,p'$ en den hoek, dien het spiegelvlak met die as maakt, bepalen, moeten afleiden, zooals boven is verklaard.

De Kompasroos.

Bij de hier beschreven kompassen is de roos een mica-schijf van 23 centimeters middellijn, beplakt met een papieren schijf die de teekening der graden en streken bevat. De teekening strekt zich slechts 4 cM. van den rand af uit, en het middendeel der schijf is doorschijnend zwart gemaakt. Aan den onderkant van de schijf zijn twee magneetnaalden evenwijdig aan de Noord- en Zuidlijn van de roos aangebracht, zoodat hare assen ongeveer een boog van 36° onderspannen. Zij zijn 22,5 cM. lang, 14 mM. breed en 2 mM. dik en worden staande op de ondervlakte der kompasroos aangebracht. Zij zijn verbonden door een dun koperen strookje dat de kompasdop draagt. Deze dop is een zuiver uitgeslepen chrysoliet, gevat in een koper stuk dat van binnen kegelvormig is uitgedraaid. De top van dien kegel ligt in den dop. De graadverdeeling der roos loopt van Noord over het Oosten tot 360° door. Het

voordeel hiervan zal duidelijk zijn als wij de correctiën, die op koersen en peilingen worden toegepast, behandeld hebben.

Gewoonlijk wordt bij het sturen niet de koers in graden maar in streken opgegeven, waarom hier een herleidingstafel tot in kwartstreken volgt:

Noord	N 0°, O	Oost	N 90°,0 O	Zuid	N 180°,0 O	West	N 270°,0 O
N¼O	2,8	O¼Z	92,8	Z¼W	182,8	W¼N	272,8
N½O	5,6	O½Z	95,6	Z½W	185,6	W½N	275,6
N¾O	8,4	O¾Z	98,4	Z¾W	188,4	W¾N	278,4
NtO	11,2	OtZ	101,2	ZtW	191,2	WtN	281,2
NtO¼O	14,0	OZO¾O	104,0	ZtW¼W	194,0	WNW¾W	284,0
NtO½O	16,8	OZO½O	106,8	ZtW½W	196,8	WNW½W	286,8
NtO¾O	19,6	OZO¼O	109,6	ZtW¾W	199,6	WNW¼W	289,6
NNO	22,5	OZO	112,5	ZZW	202,5	WNW	292,5
NNO¼O	25,3	ZOtO¾O	115,3	ZZW¼W	205,3	NWtW¾W	295,3
NNO½O	28,1	ZOtO½O	118,1	ZZW½W	208,1	NWtW½W	298,1
NNO¾O	30,9	ZOtO¼O	120,9	ZZW¾W	210,9	NWtW¼W	300,9
NOtN	33,7	ZOtO	123,7	ZWtZ	213,7	NWtW	303,7
NO¾N	36,5	ZO¾O	126,5	ZW¾Z	216,5	NW¾W	306,5
NO½N	39,3	ZO½O	129,3	ZW½Z	219,3	NW½W	309,3
NO¼N	42,1	ZO¼O	132,1	ZW¼Z	222,1	NW¼W	312,1
NO	45,0	ZO	135,0	ZW	225,0	NW	315,0
NO¼O	47,8	ZO¼Z	137,8	ZW¼W	227,8	NW¼N	317,8
NO½O	50,6	ZO½Z	140,6	ZW½W	230,6	NW½N	320,6
NO¾O	53,4	ZO¾Z	143,4	ZW¾W	233,4	NW¾N	323,4
NOtO	56,2	ZOtZ	146,2	ZWtW	236,2	NWtN	326,2
NOtO¼O	59,0	ZZO¾O	149,0	ZWtW¼W	239,0	NNW¾W	329,0
NOtO½O	61,8	ZZO½O	151,8	ZWtW½W	241,8	NNW½W	331,8
NOtO¾O	64,6	ZZO¼O	154,6	ZWtW¾W	244,6	NNW¼W	334,6
ONO	67,5	ZZO	157,5	WZW	247,5	NNW	337,5
ONO¼O	70,3	ZtO¾O	160,3	WZW¼W	250,3	NtW¾W	340,3
ONO½O	73,1	ZtO½O	163,1	WZW½W	253,1	NtW½W	343,1
ONO¾O	75,9	ZtO¼O	165,9	WZW¾W	255,9	NtW¼W	345,9
OtN	78,7	ZtO	168,7	WtZ	258,7	NtW	348,7
O¾N	81,5	Z¾O	171,5	W¾Z	261,5	N¾W	351,5
O½N	84,3	Z½O	174,3	W½Z	264,3	N½W	354,3
O¼N	87,1	Z¼O	177,1	W¼Z	267,1	N¼W	357,1

Zal nu de kompasroos aan een harer hoofdvereischten voldoen, dan moet zij, als zij met de naalden uit den magnetischen meridiaan wordt gebracht, zich spoedig weder in dat vlak richten, en dit zoo weinig mogelijk verlaten. Om te onderzoeken of een kompasroos aan dien eisch voldoet, en of er grond is om te verwachten dat zij ook aan boord van schepen, waarin zoovele andere krachten op de naald werken als aan wal, zal blijven voldoen, moeten wij nagaan onder welke invloeden de naald in rust komt, en welke krachten die rust verstoren. Wij onderscheiden dus: het magnetisch draaiingsmoment, het traagheidsmoment en het gewicht van de roos met de naalden.

Het magnetisch draaiingsmoment is de kracht, die noodig is, om op de eenheid van afstand onder de enkele werking van de aardmagneetkracht een roos in de richting van het magnetisch Oosten en Westen, dus loodrecht op den magnetischen meridiaan, in evenwicht te

houden. Dit in de onderstelling dat de roos zich alleen in een horizontaal vlak om een vertikale as kan bewegen.

Het traagheidsmoment der kompasroos, ten opzichte van een as die door haar middelpunt, loodrecht op het vlak der roos kan gedacht worden, is de geheele massa op de eenheid van afstand, dus een millimeter, en het gewicht der massa in grammen uitgedrukt.

Men moet dus trachten een verhouding tusschen deze beide momenten te verkrijgen, waarbij de kompasroos het gemakkelijkst weder gericht wordt in den magnetischen meridaan; dit zal natuurlijk het geval zijn als het quotient van het traagheidsmoment gedeeld door het magnetisch draaiingsmoment zoo klein mogelijk is; dit quotient toch is de massa die door de eenheid van kracht moet worden bewogen.

Het traagheidsmoment en het magnetisch draaiingsmoment der kompasrozen kan volgens de methode van GAUSS uit de slingertijden van de in haar zwaartepunt vrij opgehangen kompasroos worden afgeleid, terwijl die slingertijd, als de schommelingen klein zijn, door de formule $t = \pi \sqrt{\frac{K}{D}}$ wordt voorgesteld, waarin K beteekent het traagheidsmoment, D het magnetisch draaiingsmoment, en t den tijd voor een schommeling vereischt, wanneer de vrij opgehangen roos uit den magnetischen meridiaan gebracht, zich na eenige slingeringen weder daarin richten zal.

De kracht waarmede de roos zich zal trachten te plaatsen in den magnetischen meridiaan, wanneer de as van het stel magneetnaalden niet loodrecht op dien meridiaan is gebracht, zal afhangen van den hoek gevormd tusschen die as en den meridiaan, en gelijk zijn aan het magnetisch draaiingsmoment vermenigvuldigd met den sinus van dien hoek. De kompasroos wordt dus in den magnetischen meridiaan gehouden met een kracht $= O$.

Het gewicht der kompasrozen moet zoo klein mogelijk zijn, om minder tegenstand te bieden bij het richten der naalden in den magnetischen meridiaan. Immers wanneer de roos met hare as in dien meridiaan ligt, is de kracht waarmede zij gericht wordt $= O$, en zoodra zij dien stand verlaat, wordt zij met een kracht $= D$ maal den sinus van den hoek gedwongen in den meridiaan terug te keeren. De wrijving van den kompasdop op de kompaspen, werkt die neiging tegen, en vermeerdert, naarmate het gewicht der roos toeneemt, en terwijl het dus een vereischte is, dat de kompaspen scherp en de dop zuiver gepolijst is, zal theoretisch een zeer lichte kompasroos, bij voldoende stevigheid de voorkeur verdienen.

Men kan weder de drukking der roos op de kompaspen of de verhouding tusschen de wrijving en het gewicht der kompasroos, op praktische wijze bepalen, maar hierbij dient in het oog te worden gehouden, dat bij de wrijving van den kompasdop op de pen zich nog de tegenstand

voegt van de deelen der dampkringslucht, waarin de kompasroos zich bevindt; de werking van die wrijving der dampkringslucht zal toenemen met de grootte der rozen, ook bij gelijke gewichten, zoodat men bij de constructie der kompasrozen voor schepen, die natuurlijk vrij belangrijke afmetingen moeten hebben, nog dezen nadeeligen factor ontmoette.

Wordt nu een kompasroos aan boord van een vaartuig geplaatst, dan zullen, behalve de invloeden van het ijzer bij den bouw gebezigd, nog vele storende invloeden samenwerken om de naalden uit den magnetischen meridiaan te doen afwijken. Deze invloeden ontstaan uit de bewegingen van het schip en zijn afhankelijk van de soort en de constructie. De zeilschepen worden door krachten van wind en zee bewogen; zij slingeren en stampen dus langzaam, althans vrij gelijkmatig. De stoomschepen ondervinden eveneens die invloeden van wind en zee, maar al hunne deelen ontvangen daarenboven nog trillingen en schokken door de stoommachine. Deze trillingen en schokken zijn veelal zeer ongelijkmatig en altijd op de eene plaats van het schip veel sterker dan op de andere. Op zware gepantserde schepen, van groot stoomvermogen voorzien, kunnen de rozen door die trillingen dikwijls zeer wild worden, verscheidene streken afwijken, en voortdurend van de kompaspennen opspringen om er weder met kracht op neder te vallen.

Het heen- en wedergieren van een schip zal de roos in beweging brengen tengevolge van de wrijving op de pen en tegen de luchtdeelen; die beweging kan dus verminderd worden door het draaiingsmoment zoo groot mogelijk te maken bij de kleinst mogelijke wrijving.

Het slingeren en stampen van een schip brengt de kompasroos zelve in een beweging om assen, die weinig van den horizontalen stand afwijken, maar die op den duur in een beweging om een vertikale as overgaat, dus azimuthale afwijking veroorzaakt. Om die azimuthale beweging der kompasrozen zoo klein mogelijk te maken, is het gebruik van twee naalden, een aan elke zijde van het draaipunt, noodig.

De meest voordeelige vorm voor magneetnaalden, is een parallellopipedum, wiens lengte gelijk is aan twaalf malen de breedte, terwijl de breedte eenige malen grooter is dan de dikte. Daarom zijn de magneetnaalden der standaardpeilkompassen 209 millimeters lang

14 „ breed, en

2,5 „ dik.

Nu zal natuurlijk een kompasroos, die aan zooveel storende invloeden van buiten blootgesteld is, en dus zoo licht uit haren toestand van rust wordt gebracht, meer gewicht moeten hebben dan een roos, die onder betere voorwaarden gebruikt wordt, en dus zal een kompasroos aan boord zwaarder moeten zijn dan een die alleen aan wal moet dienen. Proeven hebben bewezen, dat de kompasroos, om aan boord bruikbaar te zijn,

± 200 grammen moet wegen. Onze roos der standaard-peilkompassen, weegt dan ook ± 193 grammen.

Om nu het draaiingsmoment zoo groot mogelijk te maken, moeten de magneetnaalden zoo zwaar mogelijk zijn en de niet magnetische deelen zoo licht mogelijk, mits de stevigheid voldoende blijve. De magneetnaalden der standaard-peilkompassen, wegen te zamen ± 112 grammen, en het gewicht der niet-magnetische deelen is ± 82 grammen.

De samengestelde beweging, die aan de kompasroos door het stooten, slingeren en stampen op een stoomschip wordt medegedeeld, kan men als een draaiing beschouwen om een lijn, door het uiteinde der kompaspen gedacht, welke lijn elk oogenblik van stand verandert. Men kan op elk willekeurig oogenblik den stand dier lijn en dus van de roos niet berekenen en alzoo niet volkomen de afwijkingen der naald uit den magnetischen meridiaan leeren kennen, maar men kan wel de middelen opsporen om die afwijkingen zoo klein mogelijk te maken, door de lijn waarom op een bepaald oogenblik de beweging der roos geschiedt, als een vaste omwentelingsas te beschouwen en de krachten te bepalen, die deze as en dus ook de roos uit haren stand zoeken te brengen. Maakt men die krachten zoo klein mogelijk, dan is men het doel belangrijk genaderd. Om die krachten zoo klein mogelijk te doen zijn, moet men de traagheids-momenten, ten opzichte van drie hoofd-assen gelijk maken, en om de voorwaarden dier gelijkheid te zoeken, neemt men als hoofdassen aan, drie lijnen, gaande door het draaipunt der roos, dus door het middelpunt, waarvan een loodrecht staat op het vlak der mica-schijf, de tweede evenwijdig is aan de as van het stel magneetnaalden, en de derde loodrecht op die as staat, terwijl de beide laatstgenoemde liggen in een vlak evenwijdig aan die mica-schijf.

De kompasrozen der standaard-peilkompassen voor gewone schepen en monitors, voldoen niet aan het vereischte dezer gelijkheid, daar de assen der naalden dan op aanzienlijken afstand onder een vlak, dat evenwijdig aan de roos door het ophangpunt gebracht wordt, geplaatst moesten zijn, terwijl de naalden een boog van 120° zouden moeten onderspannen. (Zie Beschouwingen over de plaatsing der magneetnaalden onder de kompasrozen door den Hoogleeraar Dr. H. G. VAN DE SANDE BAKHUIJZEN, Leiden, Februari 1875).

Hoewel nu die plaatsing der magneetnaalden niet praktisch onmogelijk is, zou toch tot het verkrijgen der noodige stevigheid een vermeerdering van de massa der niet-magnetische deelen van de roos vereischt worden, waardoor de verhouding tusschen deze en de magnetische deelen zou worden verbroken bij het behouden van het eenmaal aangenomen gewicht van ongeveer 200 grammen. Bij onze kompasrozen zijn daarom de naalden tegen den onderkant der mica-schijf staande, aangebracht, en worden met 4 kleine schroefjes aan die schijf bevestigd. Zij zijn onderling door een

dun koperen strookje, dat in het midden van een opening, waarin de kompasdop wordt bevestigd, voorzien is, verbonden; de bevestigingsschroefjes dienen tevens om de magneetnaalden evenwijdig aan elkander te houden. De magneetnaalden zijn onder een hoek van ± 22° in plaats van onder een' van 30° gebracht, waardoor men ze een grootere lengte kan geven. Tevens wordt, ter verkrijging der gelijkheid van de genoemde traagheidsmomenten, bij de hoofdkompassen een stabiliteits-toestel verstrekt. Dit is een licht koper strookje, in zijn midden doorboord, om tegen den onderkant der mica-schijf te worden geschroefd, en voorzien van twee armen, waarlangs koperen kogels, verplaatsbaar aangebracht zijn. De lijn gaande door de middelpunten der kogels, loopt, wanneer de toestel is aangebracht, evenwijdig aan de Oost- en Westlijn der kompasroos.

Het gewicht der rozen van de standaard-peilkompassen, wordt, door het aanbrengen van den toestel, belangrijk vermeerderd, zoodat de wrijving op de pen ook aanzienlijk grooter wordt, waarom steeds gewaakt moet worden, dat de kompaspen scherp en zuiver bijgeslepen blijve. Men bedenke dus wel, dat de toestel alleen dient om de azimuthale afwijkingen, door het slingeren en stampen veroorzaakt, zooveel mogelijk te verminderen; men bezige hem dus nooit bij kalm weder en wanneer het schip door het stooten der machine hevige trillingen ontvangt. Om aan de storingen, die uit dat trillen ontstaan, tegemoet te komen, wordt de kompasketel aan vier caoutchoucbanden gehangen en rust de kompaspen op een' elastieken bodem.

Eindelijk is nog een vereischte van de kompasrozen, dat de verdeeling juist zij, en het draaipunt, dus de kompaspen, volkomen in het middelpunt zij gelegen.

De kompasketel.

De kompasketel is een cilindervormige koperen doos, die van onderen en van boven is gesloten door een glazen ruit. Hij is in Cardanus-beugels opgehangen, eerst zooals boven gezegd is, in vier Caoutchouc-banden, terwijl door middel van 4 Caoutchouc-kurken de ketel op denzelfden afstand van den binnensten ring wordt gehouden.

Nu werd bij de beschrijving en rectificatie van den peiltoestel gezegd, dat nog alleen ter beoordeeling overbleef of de viziervlakte werkelijk loodrecht op den horizon stond. Door middel van een niveau kan men gemakkelijk den kompastoestel tot op 1° nauwkeurig horizontaal plaatsen, en zal men, als verder de peiltoestel gerectificeerd is, gerust de overblijvende fout, die bij gebruik van den spiegel hoogstens bij peilingen ¼ graad zal bedragen, mogen verwaarloozen.

De kompaspen bij de standaard-peilkompassen is op de volgende wijze bevestigd in het middelpunt van den binnenwand des ketels. In het onderste dekglas is een koperen bus bevestigd, welke aan de bovenzijde

een groote komvormige holte bevat, die met een deksel gesloten is. De holte is in het midden in tweeën verdeeld door een horizontaal elastiek schotje, waarop de kompaspen, die zonder veel speling door een gat in 't genoemde deksel glijden kan, steunt.

Om te zien of de punt der kompaspen in het vlak door de vizieren gebracht, gelegen is, onderzoekt men of de horizontale draad van het vizier juist met de kompaspen samen valt bij twee standen van het draadvizier welke ± 90° met elkander verschillen.

Tevens is het een vereischte dat de punt der kompaspen, d. i. het punt waarom de kompasroos zich beweegt, ligt in het snijpunt der denkbeeldige assen waarom de ketel zich, ten gevolge van de wijze waarop hij is opgehangen, kan bewegen. Dan toch deelt het draaipunt het minst in de bewegingen van den kompasketel ten gevolge van het slingeren en stampen van het schip en zal de roos dus ook de minste storingen daardoor ondervinden. Het onderzoek of aan dit vereischte voldaan wordt, geschiedt door uitmeten, terwijl de ketel in het nachthuis hangt. Daar de ketel, ten gevolge van het rekken der elastieke banden, waarin hij hangt, op den langen duur zal zakken en de kompaspen in die verplaatsing zal deelen, moet men bij deze kompassen nu en dan op nieuw de hoogte der pen bepalen, en zoo de punt beneden de aslijn ligt, moeten de banden verkort worden en dus de kompasketel hooger worden gebracht. Bij de standaard-peilkompassen, die hier beschreven worden, kan men, wanneer men ze gebruiken wil zonder de elastieke banden, deze banden geheel buiten werking stellen door den ketel aan de koperen cardanus-ringen te verbinden door middel van koperen sluitpennen, welke door de assen tegen den ketel kunnen worden aangeschoven. Op een reede en in een haven stil liggende zal men deze sluitpennen moeten aanbrengen om de elastieke banden niet noodeloos uit te rekken.

Buiten den ketel, vindt men ter hoogte van het dekglas twee koperen knoppen recht tegenover elkander. De eene dient om de heen en weder slingerende beweging der kompasroos te stuiten, en haar dus sneller in rust te brengen; men heeft daartoe slechts op den knop te drukken, die, losgelaten van zelf terug springt en de roos vrij laat.

De tweede knop dient om de kompasroos van de pen te lichten als het kompas geen dienst moet doen, waardoor onnoodige slijtage van den dop op de pen wordt voorkomen. Drukt men dien knop neder en draait men hem daarna 90° om, dan blijft het stangetje, waarop de knop werkt, in denzelfden stand en dus ook de kompasroos vrij van de pen.

De zeilstreep in den ketel is tusschen de uitwendige assen aangebracht, en moet in de viziervlakte liggen als er in hare richting wordt gepeild. Zij zal dus goed gesteld zijn wanneer men bevindt dat de horizontale draad met haar samen kan vallen, hetgeen gemakkelijk onderzocht wordt. Kan dit niet, dan moet een andere zeilstreep worden aangebracht.

Als nu alle deelen van het kompas streng onderzocht en zoo nauwkeurig mogelijk gerectificeerd zijn, moeten nog de fouten van de verdeeling der kompasroos en van de excentriciteit worden bepaald. Wanneer die fouten niet bestaan, als dus alle graden even groot zijn en het middelpunt der verdeeling samen valt met het draaipunt der kompasroos, dus met de punt van de kompaspen, dan zullen de diametrale aflezingen, dat zijn die waarbij men ziet met welken graad van den rand de horizontale draad overeen komt zoowel aan de zijde van het draad- als aan die waar het keepvizier zich bevindt, juist 180° met elkander moeten verschillen. Men kan beide aflezingen door de keep van het vizier volbrengen, als men het keepvizier maar in eenigszins schuinschen stand brengt.

Heeft men nu een standaard-peilkompas waarvan de deelen goed onderzocht en gerectificeerd zijn, dan kan men het onderzoek naar de excentriciteit en de verdeelingsfouten der roos gerust achterwege laten; men neme, om vrij van belangrijke fouten te zijn, immer het gemiddelde van de twee diametraal aflezingen. Ook passe men dit, wanneer groote nauwkeurigheid gewenscht wordt, toe, bij het aflezen van de zeilstreep, dus bij het aangeven van den koers.

De grootste fout ten gevolge der excentriciteit zal toch ongeveer 0°,5 zijn, terwijl de verdeelingsfouten nog beneden dat bedrag blijven.

Nog dient hier vermeld te worden dat een kompasroos die buiten den kompasketel of in een houten doos geplaatst is, veel langer een storende en schommelende beweging zal behouden dan eene die in den koperen kompasketel geplaatst is. Raakt de roos in beweging dan ontstaan in den metalen cilinder galvanische stroomen die de magneetnaalden naar den magnetischen meridiaan terugdringen, en deze voordeelige invloed zal bij onderzoek blijken niet gering te zijn.

d. *Het Nachthuis*,

dient om den kompasketel op een doelmatige plaats op te stellen en om de nachtelijke verlichting te kunnen bevatten. Het bestaat uit een zware houten schijf als voetstuk, verlengd door een holle koperen buis, die een weinig kegelvormig naar boven toeloopt. Het voetstuk rust op drie schijven van gevulcaniseerd caoutchouc, en is door middel van drie moerbouten stevig aan het dek verbonden. De schijven zijn doorboord om die bouten door te laten, en verminderen dus den invloed der trillingen van het schip, tengevolge van de beweging der stoommachine, op de kompasroos, terwijl zij tevens eenige ruimte tusschen het dek en het voetstuk openlaten, waar het water vrij kan doorstroomen. De koperen buis eindigt in een koperen schaal, waarin met houtschroeven een houten kom is vast gemaakt. Aan deze kom is een koperen rand bevestigd, waarin de pannen zijn geschroefd, die dienen om de buitenassen van den kompasketel

te ontvangen en diametraal tegenover elkander geplaatst zijn. In de koperen buis is gelegenheid tot plaatsing van een olielamp, die haar licht alleen kan zenden naar den verdeelden rand van de kompasroos. De lamp is omgeven van twee halve kegels van koper, welke juist tegen elkander aan passen en van boven luchtgaten bevatten. Aan de rechterzijde van de koperen buis is een deur gemaakt om de lamp er te kunnen inschuiven, terwijl ook, wanneer de deur gesloten is en de koperen kegels tegen elkander liggen, de lamp blijft doorbranden doordien de dampkringslucht kan toetreden door een reeks gaten, die zich onder in de buis bevinden. De verhitte lucht stijgt op en ontsnapt door vier kanalen in de houten kom, welke aan den afgedraaiden buitenrand uitkomen en door schuifjes met kopergaas gedekt kunnen worden als hevige wind de vlam anders zou uitblazen. Het is aan te bevelen de gaten, waarop de wind staat, steeds met het gaas te sluiten en die, welke van den wind zijn afgekeerd, geheel open te laten. De koperen kolom wordt gesloten door een glazen plaat, die gevat is in een koperen ring onder in de houten kom passende; aan de glazen plaat is door een koperen stangetje een schijf mica verbonden, dienende om het glas tegen de daaronder staande vlam te beschermen en het aanslaan van walm tegen te gaan. Tegenover de deur is een lange koperen knop aangebracht, die vertikaal gesteld, de beide halve kegels tegen elkander houdt, zoodat de vlam gedekt blijft; wordt de knop horizontaal gedraaid, dan opent zich de kegelvormige kap en zal de vlam van de lamp de kompasroos duidelijk verlichten. Daar de doorsnede van den lichtkegel waarin de kompasroos geplaatst is, iets grooter is dan de middellijn der roos zal ook bij een schommelenden ketel geen schaduw op den verdeelden rand worden geworpen. Om al het licht op dien rand te brengen, is het middelste gedeelte der kompasroos ondoorschijnend zwart gemaakt, de koperen kolom van binnen wit geverwd en alle deelen van de lamp en het nachthuis, die valsch licht naar boven kunnen werpen, zwart gemaakt.

Als het kompas niet tot het doen van peilingen gebezigd wordt, kan men het nachthuis dekken met een kap, die van een glazen dekglas voorzien is; terwijl als men het kompas in het geheel niet gebruikt, een koperen kap de glazen ruit weder kan dekken en beveiligen.

De koperen bakken aan de zijde der pannen in figuur 9 zichtbaar, zijn bestemd om soms met ijzeren ketting gevuld te worden bij de compensatie, waarover wij later handelen. Het midden der bakken ligt in het vlak gaande door de assen der magneetnaalden als het schip niet helt.

Het nachthuis moet nu zoodanig geplaatst zijn dat de zeilstreep in den ketel en de kompaspen liggen in een vlak, dat loodrecht staat op de kiel. Om die plaatsing te verkrijgen, peilt men twee merken, een voor en een achter, die juist in de vertikaal van den middennaad van het dek liggen, bij een zelfden stand van het nachthuis. Als de beide afle-

zingen 180° verschillen dan liggen natuurlijk zeilstreep en pen in het vertikale vlak dat door de beide merken gaat. Is men niet zeker dat de merken volkomen zuiver zijn aangebracht, dan moet, na volkomen rectificatie van het kompas en vizier, de fout door rondhaling van het schip worden bepaald. Men zoekt daartoe de fouten bij acht hoofdstreken, dan zal de som der fouten gedeeld door acht de fout van de zeilstreep zijn. Het zuiver aanbrengen der merken zal in den regel echter geen bezwaar opleveren.

Figuur 9 geeft een voorstelling dezer kompassen en nachthuizen.

2°. De Standaard-peilkompassen voor Ram- en Ramtorenschepen.

Bij deze soort van schepen zijn groote vaart en het maken van snelle wendingen hoofdvereischten, zoodat de eischen voor de standaard-peilkompassen van deze schepen eenigszins anders zijn als die, waaraan de kompassen voor gewone schepen en monitors moeten voldoen.

De peiltoestel welke bij de hier bedoelde kompassen verstrekt wordt, is volkomen gelijk aan die welke boven beschreven werd.

De kompasroos is hier echter niet een volle micaschijf, maar het middelste gedeelte ter grootte van ± 15 centimeter is weggesneden; hierdoor wordt de oppervlakte der roos, die met de dampkringslucht in aanraking komt kleiner, en zullen de schokken en stooten die zich door de lucht op de roos overplanten, minder hun storenden invloed doen gevoelen.

De streken enz. worden alzoo op een platten ring van ongeveer 4 centimer breedte geteekend.

Toch zal nog, wanneer de schepen volle kracht stoomen, de kompasroos herhaaldelijk van de pen opspringen en zal zij, bij het nedervallen op de kompaspen, niet altijd het zelfde punt van den chrysoliet in aanraking brengen met de pen, waardoor azimuthale afwijkingen ontstaan. Om hieraan te gemoet te komen, zijn op den kompasdop der kompasrozen zuiver afgeronde stalen stiften geplaatst, van 14,5 millimeter lengte, terwijl aan het bovendekglas van den kompasketel een agaatsteen geschroefd is, waarin een komvormige uitholling is geslepen, wier straal 15 millimeter is. De stalen stift staat loodrecht op het vlak van de micaschijf en als het midden van de komvormige uitholling samenvalt met de lijn gaande door het midden der kompaspen, dan zal bij het opspringen der roos de stalen stift in dezelfde richting teruggestooten worden, waarin zij den steen raakte en dus waarschijnlijk met 't zelfde punt op de kompaspen neervallen als waarop zij rustte vóór het opspringen. De speling is zeer gering, slechts ½ millimeter genomen, om die kans te vergrooten.

De agaatsteen is gevat in een koperen kap, waarmede hij aan het dekglas verbonden is door middel van een schroef. Die schroef is gestoken door een gat in het dekglas en is tevens het ondereind van de pen, waarom het vizier kan draaien. Als nu op de vroeger beschreven wijze de horizontale vizierdraad in de vertikaal, gaande door de kompaspen, gebracht is, zal de komvormige uitholling ook goed geplaatst zijn ten opzichte van de stift.

Bij de standaard-peilkompassen voor ram- en ramtorenschepen ontbreekt de toestel om de kompasroos van de pen te lichten, welke bij de kompassen voor gewone schepen beschreven is, waardoor men het nadeel, dat ontstaat uit de speling tusschen de kompaspen en het gat, waarin hij op en neer kan bewogen worden, tracht op te heffen. De genoemde speling zal, tengevolge van slijting, bepaald toenemen, vooral aan boord van ram- en ramtorenschepen, waar alle deelen aan hevige trillingen zijn blootgesteld. Hierdoor wordt de kompaspen meer beweeglijk en dit schaadt aan de rust van de roos. Men kan nu bij deze kompassen de speling zoo klein mogelijk maken of, zoo noodig, de kompaspen vast zetten door middel van een schroefje, dat zich aan den hals van den eigenlijken drager der pen bevindt. Het schroefje werkt op een koperen veer, die de kompaspen klemt in het gat, waarin zij op en neer kan bewogen worden. Een contra-moer verhindert het teruglopen van het schroefje, tengevolge van de trillingen. Latere nauwkeurige onderzoekingen aan boord der schepen zelve, kunnen den meest voordeeligen stand van het schroefje bepalen.

De kompasrozen zijn even als de vroeger beschrevene van een stabiliteits-toestel voorzien.

De afmetingen der rozen en naalden komen vrij wel overeen met de vroeger beschrevene, alleen het gewicht van den micarand is hier 25 gram en dat van de micaschijf der standaard-peilkompassen voor gewone schepen enz. 48.9 gram. De kompasketel is niet voorzien van sluitpennen om de elastieke banden buiten werking te stellen; de knop, om de beweging der kompasroos te stuiten, ontbreekt hier, even als de toestel om de roos van de pen te lichten, als men het kompas niet gebruikt. Dit alles is hier weggelaten, omdat deze schepen niet bestemd zijn tot het doen van verre tochten. Overigens wijkt alleen de bouw van het nachthuis belangrijk van de sub 1. beschrevene af.

Het Nachthuis,

bestaat uit een mahoniehouten voet, waarop met houtschroeven een koperen afgeknotte kegelvormige kolom is geplaatst, van boven van twee pannen voorzien, om de assen van het kompas in te doen rusten. De voet van het nachthuis wordt met drie schroeven aan het voor hem be-

stemde voetstuk op dek bevestigd. In den koperen kegel is aan den onderkant een vierkante opening, waarin de lantaarn, die tot verlichting der kompasroos dient, geplaatst wordt. Door sluitpennen wordt de lantaarn vast op hare plaats gehouden. De lamp bevat twee pitten, die elk afzonderlijk kunnen worden op- of neergedraaid, om het licht te kunnen regelen. Voor luchttoevoer en afvoering van de verhitte lucht is weder gezorgd door gaten onder in den lantaarn en door een schoorsteentje aan de bovenzijde. Beide, zoowel toevoer als afvoer van lucht, kunnen door schuiven, met kopergaas overtrokken, getemperd worden. Het licht wordt door terugkaatsing in de richting der as van het nachthuis, dus naar het midden der kompasroos gebracht. Daar de rand der roos en de zeilstreep alleen verlichting behoeven, is het onderste dekglas van den kompasketel voorzien van een koperen plaat, die maakt dat het uitgesneden deel der kompasroos geheel in de schaduw van die plaat ligt. Het licht van de lamp wordt naar boven gezonden door middel van een spiegel-prisma. Het hypotenusa-vlak bevat den spiegel, en maakt een hoek van 45° met de rechthoekvlakken. Een dezer laatsten is een glazen deur, waardoor het licht van de lamp intreedt, het andere bevat een ronde opening, verlengd door een buis, waardoor het gereflecteerde licht van den spiegel naar boven geleid wordt. De lichtkegel zal nu, daar waar de kompasroos geplaatst is, een doorsnede hebben, die een weinig grooter is dan de roos. Die lichtkegel kan nog een weinig verplaatst worden, om de zeilstreep meer of minder duidelijk te kunnen verlichten, of om de as van den lichtkegel juist met de as der kompasroos te doen samenvallen. Een koperen helmkap, waaronder de peiltoestel geheel opgeklapt kan blijven staan, dient om het nachthuis te sluiten. In de kap is een ovale spiegelruit, die ook met een koperen klep kan worden gesloten, en gelegenheid geeft om de aflezingen op het kompas te doen, als de kegel met de kap gedekt is.

De plaatsing of opstelling van het kompas aan boord van ram- en ramtorenschepen blijft steeds een vraagstuk, dat veel overwegingen en proeven noodig maakt. Als regel kan men aannemen, dat het kompas zooveel mogelijk moet worden geplaatst op een mast van behoorlijke lengte, die met het lichaam van het schip een geheel moet vormen en nergens met de dekken en andere bewegelijke deelen in aanraking mag komen, terwijl daarbij een inrichting gemaakt moet worden om den waarnemer te dragen, die zonder gevaar peilingen moet kunnen doen. Ten einde het doen der waarnemingen gemakkelijk te maken, moet het vizier omtrent 1,60 meter boven den grond, waarop de waarnemer staat, verheven zijn.

3°. Peil-stuurkompassen voor stoomkanonneerbooten en riviervaartuigen.

Deze kompassen vereenigen in zich alle eigenschappen, die de standaard-peilkompassen voor gewone schepen en monitors bezitten, maar moeten, uithoofde van de kleine ruimte aan dek der vaartuigen, waarvoor ze bestemd zijn, veel kleiner zijn. Hierom zijn de deelen, die bij eerstgenoemd kompas van hout zijn, hier van geel koper vervaardigd. Hoewel het als peil- en als stuurkompas gebruikt moet worden, kan het niet een plaats erlangen waar de roerganger er onmiddellijk op zien kan, daar de ijzerdeelen in de nabijheid van het stuurrad te groote storingen op de naalden uitoefenen en te onregelmatig zijn om behoorlijk gecompenseerd te kunnen worden.

Het peilstuurkompas wordt dus op deze vaartuigen geplaatst op den koekoek der kajuit van den kommandant, alwaar behoorlijk gelegenheid bestaat het te compenseeren, terwijl als bepaald stuurkompas een sloepvloeistofkompas met daarbij behoorende lamp wordt verstrekt, dat bij het stuurrad op een koperen klaptafel geplaatst wordt. Aanhoudend moeten nu de aanwijzingen van dit stuurkompas en het peil-stuurkompas worden vergeleken, ten einde den koers, die op het vloeistofkompas gestuurd wordt, te controleeren.

De peilingen worden natuurlijk altijd met het op den koekoek geplaatste kompas, dat als standaard-kompas dienst doet, genomen.

4°. Mast-zeilkompassen.

Deze kompassen zijn stuurkompassen, die op aanmerkelijke hoogte in den mast worden opgehangen. Men is tot dezen maatregel gekomen, doordien de invloed van het magnetisme in het ijzer bij den bouw gebezigd, zeer groote storingen op de juiste richting der magneetnaalden in den magnetischen meridiaan uitoefenen. Natuurlijk zal zulk een kompas nooit als peilkompas dienst doen, en moet het dus zoo ingericht zijn, dat men van het dek af, desnoods gewapend met een jumelle, goed de zeilstreep en de streken kunne onderscheiden, zoodat men den gestuurden koers goed kan controleeren. Hiertoe moeten aan de rozen dezer kompassen groote afmetingen gegeven worden, terwijl dan nog het onderscheiden van de graden der verdeeling onmogelijk blijft. Die groote afmetingen brengen van zelf mede, dat de mast-zeilkompassen altijd verre achterblijven in goede eigenschappen bij de nieuwe standaard-peilkompas-

sen. Daarbij zullen deze kompassen nooit zoo goed bevestigd kunnen worden, of de hevige schuddingen, waaraan zij zijn blootgesteld, zullen de slijting van den kompasdop op de pen zeer doen toenemen, terwijl het telkens aanscherpen der pen niet doenlijk is. Hierdoor wordt hunne waarde nog geringer in vergelijking van de standaard-peilkompassen, terwijl ze uit den aard der zaak nimmer gecompenseerd kunnen worden.

De kompasroos is een micaschijf van 30 centimeter middellijn met een dunne laag witte verf gedekt, waarop de kompasstreken tot $^1/_4$ deelen gelithografeerd zijn. Twee magneetnaalden, elk lang 24 cM., hoog 14 mM. en dik 2 mM., zijn, evenwijdig aan elkander, met schroeven aan de micaschijf bevestigd. Hun onderlinge afstand is 14 cM., en wordt door drie koperen strooken, die ook de onderlinge verbinding daarstellen, bewaard. De middelste strook heeft in het midden een ronde opening, waarin een koperen dop met een chrysoliet past en bevestigd kan worden. Het middelpuut van die opening valt samen met dat van het geheele samenstel.

De kompasketel is een geel koperen cilinder, die van boven en van onderen open is. Doordien de middellijn van den ketel grooter is dan die van de kompasroos, kan deze laatste zich vrij daarin bewegen. De ketel is 18 cM. hoog, en wordt van onderen door een glazen ruit gesloten; in het midden van het onder-dekglas is de kompaspen bevestigd; zij moet weder met hare punt in het snijpunt liggen van de denkbeeldige assen, waarom de ketel kan bewogen worden. De ketel is weder naar de wijze van Cardanus opgehangen; zij is van binnen wit geschilderd en van een zeilstreep of van twee diametraal tegenover elkander liggende zeilstrepen voorzien.

De scherpte en zuiverheid van de kompaspen bij deze kompassen verdienen aanhoudend gecontroleerd te worden.

Het nachthuis dient wederom tot beschutting van het kompas en tot het aanbrengen van een verlichting, die hier natuurlijk van boven moet geschieden, omdat de aflezing der aanwijzingen van dek moet plaats hebben. Het is daarom een koperen cilinder met afgeknotte kegelvormige kap. Het afgesneden gedeelte is gesloten door een glasruit, om het zonlicht op de roos te doen vallen. De kap wordt met schroefbouten vastgezet, terwijl in het cilindervormige nachthuis twee pannen de buitenassen van den kompasketel dragen, welke assen door stevig bevestigde sluitstukken verhinderd worden uit de pannen te worden geworpen bij een sterk bewegend schip. Het nachthuis past in een koperen ring, die op de daarvoor aangewezen hoogte door bouten stevig aan den mast wordt verbonden, en het wordt in den ring vastgeschroefd, zoodat azimuthale verplaatsing onmogelijk is. In de kegelvormige kap wordt, voor de nachtelijke verlichting, een lantaarn met een lamp met platte pit geschoven.

5°. De Stuurkompassen N°. 1 en N°. 2.

Deze kompassen dienen alleen om den roerganger voortdurend den te sturen koers voor oogen te houden; zij moeten dus in de nabijheid van het stuurrad geplaatst worden, dat veelal een zeer ongunstige plaats is, wat aangaat de afwijkingen ten gevolge van het stampen en slingeren en van het ijzer, in de nabijheid van het kompas aanwezig. Daarom zijn er twee soorten van stuurkompassen aangenomen, N°. 1 bestemd voor zeilschepen en voor stoomschepen, die niet van een groot stoomvermogen voorzien en dus niet aan hevige trillingen onderhevig zijn, terwijl de stuurkompassen N°. 2 verstrekt worden aan boord van stoomschepen met groot stoomvermogen.

De nachthuizen voor beide soorten zijn geheel aan elkander gelijk.

De eischen aan de stuurkompassen gesteld, zijn veel minder streng dan die waaraan de standaard-kompassen moeten voldoen; de stuurkompassen verdienen geen onbepaald vertrouwen, en bij elke koersverandering moeten zij met het standaard-kompas worden vergeleken, en wordt na die vergelijking aan den roerganger den koers opgegeven dien hij op het stuurkompas moet voorliggen. De fouten bij de verschillende streken behoeven van deze kompassen dus niet vooraf bekend te zijn, maar het is noodig dat de roerganger gemakkelijk de streken en graden van de roos kunne onderscheiden. Daartoe is het noodig, dat de schijf en verdeeling niet te klein zijn en hierom is de middellijn der schijf 25 cM. en zijn de strepen van de graadverdeeling 0,5 mM., zoodat zij door den roerganger, die op 1 meter afstand van het kompas zich bevindt, onder een hoek van circa 2′ boogs gezien worden en dus goed te onderscheiden zijn.

Tevens moet de kompasroos, door het gieren van het schip, slechts kleine schommelingen maken en die in den kortst mogelijken tijd volbrengen, daar dan de roerganger bij oefening en attentie, gemakkelijk den gewilden koers kan blijven volgen. Men moet dus aan deze kompasrozen een klein traagheidsmoment en een groot magnetisch draaiingsmoment geven, terwijl aan deze rozen evenals aan alle kompasrozen den eisch gesteld is dat de wrijving van de kompasdop op de pen zoo klein mogelijk moet zijn.

De stuurkompassen No. 1.

a. De kompasroos

is een platte ring van mica aan beide zijden met wit papier beplakt; op de bovenzijde is een verdeeling in halve streken en graden gedrukt. De

middellijn van den buitenrand is 250, die van den binnenrand van den ring 147 mM. Onder den ring zijn twee maagneetnaalden staande aangebracht; zij zijn door een koperen beugel verbonden in welks midden de kompasdop, voorzien van een chrysoliet, zich bevindt. De magneetnaalden zijn op 47 mM. afstand van het middelpunt geplaatst, zij zijn 224 mM. lang, 14 mM. breed en 2 mM. dik.

Het gewicht der beide magneetnaalden is nagenoeg 170 gram; de papieren schijf weegt 20, de koperen verbindingsstukken 34 gram, zoodat de magnetische deelen verre de niet magnetische in gewicht overtreffen en het gewicht der geheele kompasroos niet veel van 200 gram verschilt, waardoor aan de vroeger voor alle rozen als wenschelijk genoemde voorwaarden voldaan wordt, althans ten naastenbij.

Uit den gemiddelden schommelingsduur dezer rozen, op onze Lengte en Breedte 9 secunden bedragende, is afgeleid dat de verhouding tusschen het traagheids- en het magnetisch draaiingsmoment, of $\frac{K}{D} = 8.4$ is.

Men zou nu door toevoeging van een stabiliteits-toestel, zoo als bij de standaard-peilkompassen beschreven is, weder de gelijkheid der traagheidsmomenten ten opzichte van drie hoofdassen kunnen verkrijgen, maar, daar deze rozen steeds op de kompaspen blijven drijven en nooit er worden afgelicht als ze niet worden gebruikt, is het niet wenschelijk ze belangrijk te verzwaren en daardoor de wrijving van dop op pen te vermeerderen. Bij deze kompassen wordt dus zulk een toestel niet verstrekt, maar moet bijzonder gelet worden op het zuiver en scherp afgeslepen houden van de kompaspen, en op de gladheid van den chrysolieten kompasdop. Ziet men dat de oppervlakte van den steen mat is of dat er kleine barsten in komen, dan moet hij dadelijk door een anderen worden vervangen.

b. De kompasketel

is bij deze kompassen een rood koperen cilinder met koperen bodem, van boven van een dekglas voorzien dat in een rood koperen rand, die op den cilinder past, gevat is. De rand wordt door bajonetsluiting aan den cilinder bevestigd. De kompasketel is weder naar de wijze van Cardanus in een beugel opgehangen, terwijl de bodem met lood bezwaard is om het zwaartepunt lager te brengen en het horizontaal hangen, ook bij hellingen van het schip, te bevorderen. De kompasroos mag niet meer dan een paar millimeter speling in den ketel hebben, hierdoor is dus de middellijn van den laatsten bepaald; is de speling belangrijk, dan zal de roerganger, die niet juist achter de zeilstreep staat, zijnde een zwarte streep in den van binnen wit geverfden ketel, tengevolge van verschilzicht, een foutieve aanwijzing aflezen.

Het stuurkompas moet, even als ieder vast kompas, juist in de mid-

scheeps worden geplaatst en dus zal de roerganger altijd in schuinsche richting naar de zeilstreep zien, waaruit volgt dat hij niet zuiver de met die streep overeenkomende streek of graadverdeeling waarneemt. Bij een afstand van een meter tusschen het oog van den roerganger en de zeilstreep en een stuurrad van een meter middellijn, zal de fout die hierdoor gemaakt wordt, als de speling 2 mM. bedraagt, ongeveer een halve graad zijn, terwijl bij grootere speling .tusschen de roos en den binnenkant van den ketel die fout zal toenemen en bij een speling van b. v. 5 mM. 1°,3 zal bedragen. Daar nu wel nimmer op 2° na nauwkeurig gestuurd zal kunnen worden, kan die fout gerust in de praktijk buiten beschouwing blijven. Men zorge echter dat de speling binnen bovengenoemde grenzen beperkt blijve, liefst 2 mM. bedrage, dat voldoende is om het aanloopen van de roos tegen den binnenwand te voorkomen. De bodem van den kompasketel is plat en de ketel zelf zoo ondiep mogelijk, om den gunstigen invloed van de galvanische stroomen, die door de beweging van de kompasroos in den ketel worden opgewekt, niet te verminderen. De punt van de kompaspen ligt in het kruispunt der denkbeeldige assen, terwijl de pen gemakkelijk kan worden uitgenomen om haar te scherpen of te polijsten. De pen is van koper met een stalen stift, die niet te week en niet te hard mag zijn, om zelf niet spoedig af te breken, noch ook den chrysoliet te doorboren of mat te maken. De cilindervormige assen van den ketel rusten in pannen van denzelfden vorm, wier kromtestraal iets grooter is dan die der assen.

c. *Het nachthuis*

bestaat uit een mahoniehouten gedraaide kolom, op welke zich een komvormige ruimte bevindt, waarin het kompas geplaatst wordt. De kolom is geheel doorboord, op een wijdte ven 3,5 cM., ten einde de buitenlucht in gemeenschap te houden met de plaats, waar het kompas zich bevindt; zij rust op een voet en deze op drie caoutchouc-schijven, zoodat tusschen het dek, waaraan de voet met schroefbouten verbonden wordt, en den voet zelven een ruimte van ongeveer 1,5 cM. openblijft. De houten kom eindigt in een platten koperen ring, van een opstaanden rand voorzien, waarop de helmkap, dienende om het kompas tegen weêr en wind te beschutten en om de nachtelijke verlichting te dragen, past. Tevens zijn aan den houten bak, diametraal tegenover elkander, twee koperen kettingbakjes aangebracht, evenals bij de standaard-peilkompassen, tot de compensatie dienende voor den invloed van het zachte ijzer van het schip. De helmkap kan de lantaarn bevatten, zonder dat deze de kompasroos en de zeilstreep in den weg staat. De nachtelijke verlichting geschiedt bij deze kompassen dus centraal en van boven, terwijl geen olielamp gebezigd wordt, maar de verlichting door kaarslicht plaats

heeft. Om dit mogelijk te maken, moet een inrichting gemaakt worden, waardoor de toevoer van lucht tot de kaarsvlam door eigen wil van den wachthebbenden officier of den gebruiker geregeld kan worden. Daarom werd de lantaarn ingericht als volgt: een naar beneden toe vernauwende koperen kegel wordt van boven gedekt met een kegelvormige kap, die eindigt in een cilindervormige koperen buis, van een wijdte van 5 cM., en welke als schoorsteen dienst doet. Op die buis past een deksel, waaraan een nauwere buis geschroefd is, zoodat tusschen beide buizen een ruimte van 6 mM. overblijft, terwijl de binnenbuis 5, de buitenbuis 6 cM. lang is en in de buitenbuis op ongeveer de halve hoogte 12 gaten van ruim 1 cM. middellijn gemaakt zijn, die om den anderen met dun kopergaas bedekt zijn. Door middel van glazen knoppen kan men nu een ring, voorzien van 6 gaten, in de buis heen- en wederschuiven, zoodanig, dat steeds zes gaten in den schoorsteen gesloten en 6 geopend kunnen zijn. Zijn nu de 6 gaten, die met kopergaas bedekt zijn, open, dan zal de afvoer van de verhitte lucht langzamer plaats hebben dan wanneer die geschieden kan door de 6 gaten, die geheel ongedekt zijn, en men kan dit willekeurig regelen.

De lantaarn wordt van onderen door een glazen plaat gesloten, welke in het midden doorboord is en den kaarshouder bevat. Dit is een koperen buis, lang 12 cM., van boven een sponning hebbende, waarin een ring, die een sterke koperen spiraalveer draagt, past. De spiraalveer is van onderen van een koperen sluitplaat voorzien, en zal een kaars, die boven den ring in de buis gebracht wordt, steeds met kracht naar boven duwen, waarom de kaars aan de bovenzijde door een sluitbus, die met bajonet-sluiting aan den kaarshouder kan verbonden worden, tegen gehouden wordt. Tusschen den bodem van de spiraalveer en de kaars wordt een dichte koperen cilinder, die juist in de buis past, geplaatst, waardoor de kaars tot het einde toe zal opbranden.

Men dient voor het schoonhouden van kaarshouder en spiraalveer bijzondere zorg te dragen.

De lantaarn is van binnen wit gelakt en moet aan boord van tijd tot tijd worden overgeverwd; zij is van twee stevige handvatten van porselein voorzien en rust op 3 pooten, om het onder-dekglas, bij het nederzetten, niet te beschadigen. De luchttoevoer heeft plaats door een reeks gaten, die aan den onderkant van de lantaarn zijn aangebracht, terwijl de lantaarn past in een daartoe gemaakte opening in de genoemde helmkap, zoodat de luchttoevoer op vrij regelmatige wijze plaats heeft door het in de kolom geboorde kanaal.

Over dag wordt de opening, boven in de helmkap tot plaatsing van de lantaarn dienende, gesloten door een dik glas, dat in een koperen ring is gevat, welke tegen het inwateren bij regenachtig weder een overliggenden rand heeft. De kap heeft tegenover de zeilstreep een ope-

ning, die door een dikke, goed geslepen glasruit gesloten wordt, welke, als het kompas niet gebruikt wordt, door een koperen deksel wordt beveiligd.

De stuurkompassen N°. 2,

bestemd zijnde voor schepen met groot stoomvermogen, moeten dus ingericht zijn om door belangrijke stooten en trillingen niet, of zoo weinig mogelijk, uit den magnetischen meridiaan te worden gebracht. De kompasroos heeft dezelfde afmetingen als die voor de stuurkompassen N°. 1, doch op de kompasdop is een stalen stift aangebracht, even als die bij de standaard-peilkompassen voor ram- en ramtorenschepen beschreven en tot hetzelfde doeleinde dienende, terwijl ook hier een uitgeholden agaatsteen in het midden van het dekglas is vastgeschroefd. De afmeting van de stift en de straal van den bol, waartoe de uitholling in den agaatsteen behoort, is even als daar is opgegeven.

De kompasketel hangt, even als bij bedoelde kompassen is gezegd, in caoutchouc-banden en de kompaspen rust op een elasticken bodem, waardoor de invloed der trillingen op de kompasroos wordt verminderd.

De punt der pen moet ook hier liggen in het snijpunt der denkbeeldige assen, waarom de kompasketel zich kan bewegen. Daar de ketel in rekbare elastieke banden is opgehangen, zal de stand der kompaspen nu en dan moeten gecontroleerd en zoo noodig verbeterd worden.

6°. De vloeistof-stuurkompassen.

Bij deze kompassen beweegt zich de kompasroos in een vloeistof en zal, door den tegenstand dien zij in die vloeistof ondervindt, het aantal schommelingen dat zij moet maken om, na uit den evenwichts-toestand gebracht te zijn, weder in den magnetischen meridiaan gericht te worden, belangrijk worden verminderd. Terwijl dus de roos spoediger weder tot rust zal komen dan bij een gewoon kompas, zal, door de wrijving der vloeistof tegen de deelen waaruit de kompasroos bestaat, de roos gemakkelijk in beweging komen en dus niet meer den magnetischen meridiaan aanwijzen.

Een gewoon kompas zal dadelijk door meer of minder regelmatige schommelingen waarschuwen, als de aanwijzingen minder vertrouwen gaan verdienen, terwijl een vloeistof-kompas schijnbaar in volkomen rust kan zijn en toch belangrijk afwijken van den magnetischen meridiaan. Daarom mag nooit een vloeistof-kompas worden gebruikt waar bepaalde vertrouwbaarheid wordt vereischt.

De kompasketel bestaat uit een dikke koperen cilinder van boven voorzien van een breeden rand met een sponning waarin een zuiver geslepen glasruit van ongeveer 6 mM. dikte past. Deze ruit rust niet

dadelijk op het koper, maar in een ring van dun zeemleder die in de sponning wordt gelegd, welke ring dient om het breken van het glas bij de sluiting tegen te gaan.'

Ten einde de vloeistof zuiver van de buitenlucht af te sluiten, wordt op den platten rand een platte ring van gevulcaniseerd caoutchouc en over dezen een dikke koperen ring gelegd. De laatstgenoemde ringen hebben dezelfde breedte, welke die van den platten rand een weinig over-overtreft. Beide ringen worden nu door een aantal schroeven aan den vasten rand verbonden.

De verlichting is centraal van boven.

De kompaspen rust op een driestang, die aan den binnenrand des ketels geschroefd is.

Om te verhoeden dat door de uitzetting der vloeistof waarmede de ketel gevuld is, b. v. bij temperatuur-verandering, de dekglazen barsten, is de kompasroos op de volgende wijze ingericht: in een dicht gesoldeerde koperen doos zijn twee in koper gesoldeerde magneetnaalden, die op de randverdeeling een boog van circa 136° onderspannen, bevestigd. Aan de doos is met vier schroeven een mica-rand verbonden, waarop de verdeeling in halve streken en in graden is aangebracht en wiens inwendige middellijn gelijk is aan de middellijn der doos. In het midden der onderzijde van de doos is een kegelvormige ruimte naar binnen, in den top des kegels een chrysolieten kompasdop bevattende. De bovenzijde der doos is een dunne geribde koperen deksel, zooals die der aneroïde barometers. Daar nu het specifiek gewicht van de geheele roos met de naalden een weinig grooter is dan dat der vloeistof, zinkt de roos wel in de vloeistof, maar drukt zij toch slechts met een kracht van 6 à 8 gram op de kompaspen. Hiernaar is de grootte der doos of van den luchttrommel berekend. Terwijl dus buiten de vloeistof de roos een vrij groot gewicht heeft, zal de wrijving op de kompaspen, als de roos in de vloeistof drijft, zeer gering zijn. Om het troebel worden der vloeistof en het onduidelijk worden der verdeelingen van de roos tegen te gaan, worden de nieuw ingevoerde vloeistof-kompassen allen van binnen gedekt met een mengsel van copal-vernis en zinkwit, terwijl ook de micaschijf dik met die verf bestreken is en op die verflaag de verdeelingen gedrukt zijn. Men heeft dus hier geen last van onregelmatigheden in die verdeelingen, welke bij papieren teekeningen zoo dikwijls voorkomen ten gevolge van het ongelijk samentrekken.

De vloeistof waarmede de ketels gevuld worden, is een mengsel van alcohol en water, zoodanig dat de massa niet bevriest bij temperaturen, die men verwachten kan in die streken waar het kompas moet worden gebruikt. Een deel zuivere alcohol op zes deelen gedistilleerd water geeft een mengsel dat eerst bij een temperatuur beneden 4° Celcius zal vast worden. Vroeger bezigde men alleen zuivere alcohol, maar de verflaag blijft

helderder naarmate de vloeistof minder alcohol bevat, zoodat men daarom het alcoholgehalte zooveel mogelijk verminderde. De vloeistof mag nooit in den ketel gebracht worden, voordat de verf geheel droog is, daar anders oneffenheden in die verflaag zullen ontstaan.

7°. Vloeistof-sloepkompassen.

Deze kompassen zijn bepaald voor het gebruik in sloepen bestemd en zijn dus kleiner dan de sub 6 beschreven vloeistof-stuurkompassen. De ketels zijn weder met vloeistof gevuld om dezelfde redenen als hierboven is verklaard, terwijl hier hetzelfde mengsel gebruikt wordt als daar is opgegeven. Fig. 10 geeft een voorstelling dezer kompassen: *ABCD* is de ketel, aan den bovenkant van een breeden platten ring voorzien, die zoodanig is uitgedraaid dat daarin de glazen dekplaat *PP* past. De glazen plaat is, zooals bij de vloeistof-stuurkompassen is gezegd, opgesloten door een platten ring van gevulcaniseerd caoutchouc *b*, die weder met schroeven *N* op den uitstekenden rand wordt bevestigd. De kompaspen rust op een koperen staafje, waarvan de uiteinden aan twee diametraal tegenover elkander liggende punten van den binnenrand des ketels, zijn vastgesoldeerd.

De kompasroos *R* in de figuur is van één naald voorzien, wier as samenvalt met de punten Noord en Zuid of met de verdeelingen 0° en 180° van den rand. Even als bij de vloeistof-stuurkompassen worden de kompasketels van binnen wit geverfd en de kompasrozen ook met een dikke verflaag bestreken.

De bodem *EF* wordt gevormd door een zeer dunne metalen plaat, voorzien van concentrische golvingen, even als de deksels der aneroide barometers. Hij is mede aan den binnenwand des ketels vastgesoldeerd. De ruimte tusschen dien bodem en de glazen dekplaat *P* wordt geheel en al met alcohol gevuld. Tot het ingieten van het vocht dient de opening *M*, bovenaan in den zijwand, die daarna door een schroefstop gesloten wordt.

Het onderste gedeelte des ketels *BC* dient om den dunnen, metalen bodem te beschutten, en tevens om aan het ondereinde het gewicht te bevatten, dat de kompaspen, als de ketel in zijne beugels hangt, den vertikalen stand doet behouden.

De ketel is opgehangen naar de wijze van Cardanus en past in een doos waarin zij altijd blijft, ook als het kompas gebruikt wordt, terwijl het kompas tevens voorzien is van een peiltoestel. Vroeger bevond zich op het dekglas der vloeistof-stuurkompassen een koperen stift, waarom de peiltoestel werd bewogen; het was hiertoe natuurlijk noodig het dekglas te doorboren, waardoor het glas het noodige weêrstandsvermogen verloor en het voorkomen van lekken hoogst moeielijk werd. Daarom is die stift nu vervallen en is de peiltoestel eenigszins anders ingericht dan de vroeger beschrevene.

De rand die aan de bovenzijde van het kompas dient tot het aanpersen van den caoutchouc-ring en die zoo zuiver mogelijk is uitgedraaid, wordt benuttigd als geleider van het vizier, dat even als de vroeger beschreven peiltoestel een koperen kruis is, waarvan het eene deel raamvormig is uitgesneden. (Zie fig. 11.) Elk der vier armen van het horizontale kruis heeft aan den onderkant een koperen stift of poot, waarmede het rust op de glazen dekplaat. Tevens is aan elk der uiteinden dier armen in horizontalen zin een nokje aangebracht, dienende om den peiltoestel vast op het dekglas te houden. Op den rand, waar binnen de peiltoestel zich beweegt, is daartoe een platte dunne ring geschroefd, die een paar millimeter naar het midden van het dekglas over den geleidingscirkel voor den peiltoestel uitsteekt. Die rand is voorzien van vier gleuven die door schuiven gesloten kunnen worden en dienen om de horizontale nokken van den peiltoestel door te laten bij zijne plaatsing op het dekglas van het kompas. Figuur 11 geeft van den peiltoestel een voorstelling, waarbij men tevens ziet dat een wit geschilderd stukje bladkoper tegen het draadvizier *B* is geschroefd. Dit stukje koper loopt bovenaan in een punt uit, welke bij nachtelijke peilingen de richting van den draad aanduidt. De peiltoestel is niet van een spiegeltje voor het doen van azimuthwaarnemingen aan hemellichten voorzien, en de vizieren zijn korter dan die, welke bij de peilstoestellen voor de standaard-kompassen behooren. De geheele toestel wordt bij het kompas in de houten doos geborgen.

De nachtelijke verlichting geschiedt door een lantaarntje, zoodanig ingericht, dat de luchttoevoer en luchtafvoer geregeld kan worden door openingen, die geheel of gedeeltelijk met fijn kopergaas kunnen worden gedekt. De lamp met een platte pit toegerust, past in den onderkant van de lantaarn en zendt haar licht door middel van een in schuinschen stand geplaatst spiegeltje, naar de roos, wanneer de lantaarn op een daartoe ingerichten houten standaard boven het kompas wordt aangebracht. De standaard, die op de doos, waarin het kompas hangt, past en daarop stevig bevestigd kan worden, wordt met de lantaarn, in een afzonderlijk houten schuifkistje verstrekt. Figuren 14, 15, 16 en 17 maken dit duidelijk.

Om de beugels van Cardanus buiten werking te brengen als groote bewegelijkheid van de sloep de voordeelen dier ophangwijze doet verloren gaan, is in een der hoeken van de doos een pen aangebracht, die in horizontalen zin door een schroefknop bewogen kan worden. Wordt deze pen geschoven naar het kompas, dan gaat zij, door een gat in den ring, in een daarmede overeenstemmende opening in een borst, die aan den ketel bevestigd is. Zij verbindt dus den ketel aan den ring en de doos. Is de pen teruggeschoven in den nok, die in de hoek der doos aanwezig is, dan is het kompas vrij in zijn bewegingen.

8°. Gewone peilkompassen.

De gewone peilkompassen zijn in koperen ringen opgehangen in vierkante, houten kistjes, die met een schuif, of ook met een deksel met staanden rand kunnen gesloten worden.

De twee hierbij behoorende vizieren *a*, fig. 8, zijn rechthoekige, koperen plaatjes, waarvan het eene open is en in het midden een fijnen draad heeft, die rechthoekig op het vlak van de roos komt te staan. Het andere vizier heeft in het midden een doorloopende, fijne spleet, voor welke bij de waarneming het oog geplaatst wordt. Beide worden in het deksel of in afzonderlijke vakken van het kistje geborgen.

Om een peiling te nemen, worden de vizieren op de daartoe bestemde diametraal tegenover elkander geplaatste nokjes van het kompasdeksel geschoven, en het kompas met het kistje zoodanig gedraaid, dat men, door het vizier met de spleet heen, den draad van het andere vizier met het te peilen voorwerp ziet samenvallen. Door eene op en nedergaande beweging van het hoofd, verlengt men als ware het den draad tot aan den rand der roos, waardoor men in de gelegenheid zal zijn, het punt der verdeeling, aangewezen door de richting van den draad, af te lezen.

Wanneer het schip slingert, en daardoor aan de roos eenige beweging wordt medegedeeld, zoodat de aflezing niet nauwkeurig kan geschieden, zal men de uiterste aflezingen aan wederzijde moeten opteekenen, daarvan het gemiddelde nemen, en dat als de peiling moeten beschouwen.

In het dekglas is een streep geëtst, welke in het vlak door keep en draadvizier gaande ligt en dient tot het aflezen van de kompasroos. De kompassen zijn bestemd om op verschillende plaatsen van het schip, waar geen vaste kompassen zijn, gebruikt te worden.

9°. Gewone kompassen met koperen ketel.

Deze zijn op dezelfde wijze ingericht als de sub 8°. genoemde en beschreven gewone peilkompassen, maar zij zijn **niet** met vizieren toegerust.

10°. Het Gilberts-Azimuthkompas.

Dit peilkompas is bestemd tot het verrichten van magnetische waarnemingen aan den wal. Het bestaat uit een roos van kleine afmetingen (15½ cM. middellijn), voorzien van één naald, die met een agaatsteen op de pen in den ketel rust. De ketel is met twee tappen in een ring opgehangen, welke ring wordt gedragen door twee armen, die van onderen samenkomen en in een koker eindigen, waardoor de geheele toestel op een drievoet geplaatst kan worden.

Bij het kompas worden twee kompasrozen verstrekt, voorzien van een graadverdeeling van 20' tot 20' en een gewone verdeeling in streken.

Bij een dier rozen is de graadverdeeling aangebracht op een verzilverden koperen rand, waardoor men niet afhankelijk is van de onregelmatige samentrekking van het papier.

Deze kompassen zijn bij onze Marine thans alleen bestemd voor waarnemingen aan den wal; de kleine afmetingen der roos, en dus van de kompasnaald, en de eigenschap, dat zij slechts met één naald zijn toegerust, geen stabiliteits-toestel, geen nachtelijke verlichting bezitten enz., maken dat zij voor waarnemingen op een bewegend schip minder geschikt zijn. Voor wederkeerige peilingen, waarvan het doel bij de behandeling der fouten van de kompassen, door het magnetisme in de ijzerdeelen van het schip, zal aangetoond worden, kunnen ze echter met veel vrucht worden gebezigd.

Het kompas is voorzien van een peiltoestel, nagenoeg overeenkomende met dien der standaard-peilkompassen. Hier vormt die toestel echter één geheel met den kompasketel, zoodat tot het doen van peilingen de geheele ketel gedraaid moet worden om de vertikale as, waarom de beugel zich beweegt.

Het draadvizier kan neêrgeklapt worden en deze beweging wordt, door een daartoe aangebrachte inrichting, tevens aangewend om de roos van de pen te lichten. Daar het kompas, als het niet gebruikt wordt, altijd geborgen wordt in de voor hem bestemde doos, en deze niet gesloten kan worden voordat het draadvizier is neergeklapt, zal de roos geen wrijving op de pen uitoefenen als het kompas niet wordt gebruikt.

Het keepvizier is voorzien van een prisma met bolvormig ondervlak, dat naar de roos gekeerd is. Het andere vlak zal dus vertikaal zijn en dit wordt gebracht voor de keep, welke, ter plaatse waar het oog komt, eenigszins verwijd is. Door die opening ziende, zal men dus een vergroot omgekeerd beeld van de verdeeling der roos ontwaren. De cijfers der graadverdeeling zijn dan ook omgekeerd op den rand gegraveerd.

Het geheel is zoodanig geconstrueerd, dat men het vergroote beeld der roos kan doen samenvallen met het voorwerp dat gepeild wordt, zoodat men onmiddellijk de peiling volgens het foutieve kompas op de roos afleest.

Het draadvizier is, even als bij de reeds beschreven peiltoestellen, voorzien van een spiegeltje, dat om een horizontale as draaibaar is. Dit spiegeltje dient om de hemellichten in horizontalen zin te kunnen zien. Bij de beweging van het spiegeltje moet wederom zorg worden gedragen dat de normaal op de spiegelvlakte steeds samenvalt met de viziervlakte.

Het is natuurlijk, dat ook bij dit instrument nauwkeurige rectificatie der verschillende deelen noodzakelijk is. Tot die rectificatie verwijzen

wij naar hetgeen daaromtrent reeds gezegd is bij de behandeling der peiltoestellen voor standaard-peilkompassen. Het Gilberts-prisma, dat bij die toestellen niet gevonden wordt, zal, bij niet-gerectificeerden stand, een vrij aanzienlijke fout in de aflezing kunnen veroorzaken. Is het kompas, op dit prisma na, goed gerectificeerd, dan kan men den foutieven stand gemakkelijk beoordeelen door diametrale aflezingen. Men kan namelijk, door de keep ziende en gebruik makende van de reflectie van den vertikalen draad in het dekglas van het kompas, den stand der roos bepalen ten opzichte van dien gereflecteerden draad. Bepaalt men tevens den stand der roos, door het prisma ziende, dan moeten de aflezingen 180° verschillen, indien de roos tijdens de observatie stil is blijven liggen.

De Gilberts-Azimuthkompassen zouden, daar ze alleen voor waarnemingen aan wal dienen, met voordeel kunnen worden vervangen door een eenvoudige boussole, zooals door mijn-ingenieurs wordt gebruikt. Zoolang onze Marine nog voorzien is van een betrekkelijk groot aantal dezer kompassen, kunnen ze, zonder te veel afbreuk aan de nauwkeurigheid te doen, als boussole gebruikt worden. Een zeer geschikte boussole ter bepaling van magnetische Azimuths aan wal, wordt in den handel gebracht door den instrumentmaker Weithaupt te Cassel. Zonder twijfel zoude het zeer wenschelijk zijn de Azimuthkompassen door dergelijke boussoles te vervangen, die ook met voordeel tot het doen van wederkeerige peilingen aangewend kunnen worden.

b. DE LOG.

1°. De gewone log.

De weg, dien een schip in een bepaalden tijd aflegt, anders gezegd de verheid, wordt gemeten door de log.

De gewone en tevens meest gebruikelijke log bestaat uit het logplankje, de loglijn en de logrol.

Het eikenhouten logplankje heeft den vorm van een cirkelsector van ongeveer 50°, met een straal van ongeveer twee dM.; de boog *BC*, fig. 19, is met lood belegd, opdat het plankje in vertikalen stand tot op 2 à 3 cM. na, zou ondergedompeld zijn.

De loglijn is een dunne, sterke lijn — van de vele soorten van lijnen door de gemelde benaming onderscheiden — met een hanepoot zoodanig aan het plankje bevestigd, dat dit, bij het uitloopen der loglijn, voortdurend zijne platte zijde naar het schip gekeerd houdt. Twee parten van den hanepoot zijn, ter plaatse waar zij samenkomen, voorzien van een kokertje, waarin het pennetje gestoken wordt, dat aan de loglijn is be-

vestigd, op de hoogte waar deze in den derden poot overgaat. Het pennetje sluit genoegzaam, zoodat de verbinding, gedurende het uitloopen van de loglijn, niet verbroken wordt; doch eenige rukken aan die lijn doen het pennetje uit het kokertje schieten. Het plankje zal alsdan op het water drijven en gemakkelijk worden ingehaald. De loglijn is gewonden op de l o g r o l.

Heeft men het pennetje van den hanepoot ingestoken en het plankje over boord geworpen, dan zal het plankje door den tegenstand van het water genoegzaam op zijne plaats worden gehouden, en de loglijn door den voortgang van het schip uitloopen. Kent men dan de hoeveelheid lijn, die er in zeker tijdsbestek uitloopt, dan zal daaruit de afstand kunnen worden afgeleid, dien het schip b. v, per wacht aflegt.

Zal de log aan het doel volkomen beantwoorden, dan moet:

1°. het plankje in het water onveranderlijk zijne plaats behouden;

2°. de lengte der uitgeloopen lijn nauwkeurig bekend zijn;

3°. de tijd, tot het uitloopen besteed, met juistheid gemeten worden.

Om aan het eerste vereischte te voldoen, laat men zooveel lijn uitloopen, dat men kan rekenen, dat het plankje buiten den invloed van het zog van het schip is. Daartoe meet men op de loglijn, gerekend van het plankje, zekere lengte af, gewoonlijk de grootste breedte vermeerderd met den diepgang van het schip, ook wel anderhalf maal de grootste breedte, en merkt dit punt met een lapje vlaggedoek, dat met den naam van v o o r l o o p e r bestempeld wordt. Van het oogenblik, waarop dit merk door de hand gaat, rekent men den duur van het uitloopen der lijn, en van het merk af hare lengte. Op stoom- maar vooral op schroefschepen, moet de voorlooper verder van het plankje verwijderd zijn. De lijn behoort zoo vrij mogelijk uit te loopen. Te dien einde haalt men haar met de eene hand van de rol af, en laat haar met een lichte klemming door de andere gaan, zoodat er niet meer lijn uitloopt dan het plankje eischt, terwijl men plotseling kan aanhouden, als de gestelde tijd verstreken is. Loopt het schip weinig vaart, dan is het beter de lijn zonder klemming vrij uit te laten loopen; natuurlijk zorge men immer, dat de lijn daarbij vrij blijft van het hek, van touwwerk, enz.

Om het voldoen aan de tweede voorwaarde gemakkelijk te maken, wordt de lijn op bepaalde afstanden, gerekend van den voorlooper, van merken of k n o o p e n voorzien. De afstand tusschen twee merken, draagt den naam van l e n g t e v a n d e n k n o o p d e r l o g l i j n, en wordt op de volgende wijze bepaald. Wanneer een schip in 4 uren of in een wacht den afstand doorloopt van 1 Duitsche mijl, dan zal het schip in 30 secunden een weg afleggen, die gevonden wordt door de evenredigheid:

$$4^u : 30^s = 7407{,}4 \text{ meter} : x.$$

waaruit

$$x = 15{,}432 \text{ meter.}$$

Plaatst men nu de merken op de loglijn, van den voorlooper af, op afstanden van 7,7 meter, — en wel op 7,7 meter eenvoudig een eind takelgaren, op 15,4 meter hetzelfde, doch voorzien van één knoopje, 7,7 meter verder wederom een eind takelgaren, op 30,8 meter een gelijk merk, doch met twee knoopen enz. — dan zal, als er in de genoemde 30 secunden twee knoopen door de hand zijn gegaan, en dus het schip den afstand van 30,8 meter heeft doorloopen, de vaart van het schip 2 mijl per wacht zijn; is er bovendien nog een merk zonder knoopen door de hand gegaan, dan wijst zulks aan, dat de vaart een halve mijl grooter is. Wij hebben, voor de lengte der geographische mijl, bovengenoemde waarde behouden, omdat de bestaande kaarten op deze lengte gebaseerd zijn. Worden de zeekaarten samengesteld op de afmetingen, die door BESSEL zijn aangegeven, dan behoort de lengte van de geographische mijl op 7420,44 meter gesteld en de lengte van den knoop dienovereenkomstig gewijzigd te worden.

Het merken van de loglijn geschiedt eerst nadat zij goed nat gemaakt en gerekt is. Het is zaak van tijd tot tijd de merken na te zien, hetgeen lichtelijk gedaan kan worden door de lengte van den knoop te vergelijken met den afstand van 15,4 meter, die met koperen spijkers op het dek is afgezet.

Tot het meten van den tijd gedurende het uitloopen der lijn, bedient men zich van zandloopers, logglaasjes genoemd. In de zandloopers wordt een hoeveelheid goed droog zand of gekorreld ijzer gestort, die juist den tijd van 30 sec. behoeft om van de eene helft in de andere over te gaan. Zij moeten goed droog gehouden, nimmer in de nachthuizen geborgen en herhaaldelijk met een goed secundechorologie vergeleken worden. Behalve van de genoemde, maakt men nog gebruik van logglaasjes van 15 sec.; zij worden van de eerstgemelde, die den naam van heele glaasjes dragen, onderscheiden door dien van halve glaasjes.

Men bezigde vroeger, en ook thans treft men die nog wel aan, glaasjes van 28 sec. en 14 sec. Zij moesten dienen om de fout te vereffenen, die zoo men meende, in het meten van den tijd werd begaan, dewijl er een zekere tijd vereischt werd, om het glaasje te keeren, en de lijn te stoppen. Er verliep dus, bij het gebruik van een glaasje van 30 sec., meer tijd, dan met den gestelden afstand van 15,4 meter overeenkwam, waarvan het gevolg moest zijn, dat de vaart te groot werd gemeten. Behield men echter voor de lengte van den knoop 15,4 meter, doch rekende men den tijd b. v. 1 sec. korter, dan werd daardoor de vooronderstelde fout vereffend. Al dadelijk zal men ontwaren, dat zoodoende toch een fout werd begaan, dewijl het heele glaasje 29 sec. moest loopen. Op de Nederlandsche oorlogschepen is het de gewoonte, de vaart altijd een weinig minder op te geven, dan de werkelijk gelogde. Is dit nu het geval bij de gewone glaasjes van 30 sec., dan vervalt de aanleiding

om die korter te laten loopen. Worden er glaasjes van 28 sec. en 14 sec. verstrekt, dan heeft men slechts de lengte van den knoop in dezelfde verhouding kleiner te maken. Zij wordt dan bepaald door de evenredigheid;

$$4^u : 28^s = 7407,4 \text{ meter} : x \text{ meter},$$

waaruit

$$x = 14,403 \text{ meter}.$$

Loopt het schip veel vaart, dan gebruikt men, tot meer gemak, de halve glaasjes. Het is klaar, dat men dan de halve knoopen als geheele in rekening zal moeten brengen. Men logt nogtans nauwkeuriger door de heele glazen te bezigen.

Tot het loggen worden drie personen vereischt. De eene houdt, met de beide handen boven het hoofd gestoken, de beide uitstekende einden van de as der rol vast; de tweede werpt het logplankje aan lij achter het schip, met eenige bocht voor de hand, uit, en laat de lijn door de hand loopen, terwijl hij haar met de andere een weinig afhaalt. Zoodra het merk van den voorlooper door de hand gaat, roept hij turn of keer, waarop de derde, die het glaasje heeft, dat snel omdraait met dat gedeelte, waarin het zand is, naar boven; terwijl hij het bij nacht tusschen het oog en het licht, b. v. van het nachthuis brengt. Als het glaasje bijna ledig is, roept de laatstgenoemde: opgepast, en als het leeg is: stop, waarop de tweede waarnemer de lijn aanhoudt en ziet hoeveel knoopen en onderdeelen van knoopen zijn uitgeloopen, hetgeen, nevens den gestuurden koers, op de wachtlei wordt aangeteekend. Door het stoppen der lijn, laat het pennetje los, en het plankje kan gemakkelijk binnen boord gehaald worden.

De log is een gebrekkig hulpmiddel om de vaart van het schip te meten. Zij geeft alleen den weg aan, dien het schip door het water aflegt, en geenszins de snelheid over den grond, dewijl het plankje, even als het schip, door den stroom wordt medegevoerd, terwijl bovendien wind en zee daarop invloed uitoefenen. Zij toch verplaatsen het plankje, doen de lijn in een bocht uitstaan en verhinderen dus in meerdere of mindere mate de vervulling der eischen, waaraan de log voldoen moet, om goede resultaten op te leveren.

2°. Gewijzigde logtoestellen.

Het heeft niet aan pogingen ontbroken om werktuigen uit te denken, die de gewone log met vrucht zouden kunnen vervangen. De meesten hebben echter niet aan de verwachting beantwoord, en de gewone log blijft nog steeds zeer algemeen in gebruik. Onder de voorgestelde verbeteringen komen er eenige voor, die wij hier niet onvermeld mogen laten.

a. Massey's *nieuwe patentlog.*

bestaat uit een drijver *A*, fig. 20, waaraan in schuinschen stand vier schroefbladen bevestigd zijn, en uit een raderwerk, dat in een kastje *B* is besloten. Het raderwerk wordt bewogen door een schroef zonder eind, waarvan de as in *D* buiten het kastje komt. In het oog, dat zich daartoe aan het uiteinde der genoemde as bevindt, is een kort eind Manillatros gesplitst, waarvan het andere einde aan den drijver is bevestigd. Door het raderwerk worden de wijzers I, II en III in beweging gebracht, waarvan de bestemming is, om op de overeenkomstige wijzerplaten het aantal mijlen aan te geven, dat het schip heeft afgelegd. De inrichting van het raderwerk is zoodanig, dat als III eenmaal rondgegaan is, II tienmalen en I honderdmalen hunne wijzerplaten hebben doorloopen. De omtrek der wijzerplaat van I is in 8 gelijke deelen verdeeld, die met $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$ enz. tot 1 gemerkt zijn. De wijzerplaten van II en III daarentegen, zijn in 10 gelijke deelen gedeeld, welke bij II met de cijfers 1 tot 10, bij III met de getallen 10 tot 100 zijn gemerkt.

Om dezen toestel te gebruiken, zet men de wijzers I, II en III op de verdeelingen 1, 10 en 100, sluit het deksel *E* en viert het kastje met den drijver buiten het zog van het schip, met behulp van een lijn, die door het oog *C* gestoken, aan stuur- en bakboordszijde op het hek is bevestigd.

Door den voortgang van het schip, zal de drijver *A* eene draaiende beweging erlangen. Deze beweging wordt door den tros aan de schroef zonder eind medegedeeld en zal de verplaatsing der wijzers ten gevolge hebben. De stand, dien men aan de bladen van den drijver geeft, is zoodanig gekozen, dat de wijzer I juist eenmaal is rondgegaan, als het schip 1 Eng. mijl ($\frac{1}{4}$ Duitsche) heeft afgelegd. Te gelijker tijd zal II zich $\frac{1}{10}$ van den omtrek verplaatst hebben en dus op de verdeeling 1 staan, terwijl III $\frac{1}{100}$ van den omtrek heeft doorloopen. Heeft het schip b. v. juist 20 Eng. mijlen afgelegd, dan zal weder I op 1 en II op 10 staan, doch III zal nu het cijfer 20 aanwijzen.

Verlangt men, nadat het werktuig eenigen tijd gesleept heeft, te weten hoeveel mijlen het schip sedert het over boord werpen heeft afgelegd dan behoeft men slechts den toestel in te halen, en den stand der wijzers af te lezen, met inachtneming dat III de tientallen, II de eenheden en I de $\frac{1}{8}$ deelen van het gevraagde aantal, in Eng. mijlen uitgedrukt, zal aanwijzen.

Als b. v. de wijzers, wanneer het werktuig ingehaald is, bevonden worden te staan:

I op $\frac{1}{2}$, II tusschen 6 en 7, III tusschen 40 en 50,

dan is

de gevraagde verheid = 40+6+½ = 46½ Eng. mijl of 11⅝ Duitsche mijl.

De proeven, die met deze log genomen zijn, hebben zeer voldoende resultaten opgeleverd. Een bezwaar van het werktuig is echter, dat men daarmede de snelheid van het schip niet op een gegeven oogenblik kan bepalen, zooals toch in sommige gevallen noodzakelijk kan zijn. Tevens zal, bij eenigszins woelige zee, en vooral als het schip flink vaart loopt, de drijver en ook het kastje herhaaldelijk van den eenen op den anderen golftop overspringen, en dus de toestel niet den tegenstand ondervinden, die met de werkelijke vaart overeenkomt; zoodat de vaart niet zuiver wordt aangewezen.

De marine surveyor van DE SAUMAREZ, RUSSEL's perpetual-log en FOXON's log berusten op hetzelfde beginsel, als die van MASSEY; de drijver van de beide laatstgenoemde is spiraalvormig.

b. *De sillometer van* CLEMENT

bestaat uit een hollen, koperen bol, die onder de kiel, ongeveer in het midden van het schip is aangebracht. Hij is bevestigd op een hefboom, welks eene einde vast is, terwijl het andere door een ketting verbonden is met een tweeden hefboom op het dek. Aan den tweeden hefboom is een wijzer bevestigd, die de maat van de snelheid van het schip op een verdeelde plaat aangeeft. De hefboom op het dek wordt door een veer gesteund.

De werking van den toestel is eenvoudig. Wanneer het schip zich door het water verplaatst, ondervindt de bol tegenstand, die grooter wordt naar gelang de vaart van het schip toeneemt. Door dien druk krijgt ook de veer van den tweeden hefboom meerdere of mindere spanning, en wanneer nu de verdeeling der plaat, door proefnemingen bepaald en in mijlen gemerkt is, zal de wijzer de snelheid van het schip, voor elk oogenblik, aantoonen.

Zooals men ontwaart, geeft het voorschreven werktuig niet aan, de hoeveelheid wegs, die door het schip in zeker tijdsbestek is afgelegd. Om onder alle omstandigheden tot de kennis daarvan te kunnen geraken, bracht CLEMENT den hefboom tevens in verband met een uurwerk, dat dien ten gevolge zijn gang veranderde, en wel in dezelfde reden, als de snelheid van het schip toe- of afnam. Een tweede uurwerk, in de onmiddellijke nabijheid van het eerste geplaatst, moest bij het eerste vergeleken achterloopen, zoodra de werking van den hefboom de drijfkracht van het eerste uurwerk versterkte. Wist men dus door proeven, met hoeveel mijlen een bepaalde versnelling overeenkwam, dan behoefde men slechts het verschil in stand der beide uurwerken sedert een zeker

oogenblik op te maken, om de afgelegde verheid sedert dat oogenblik te verkrijgen. Het zal wel geen betoog behoeven, dat de uurwerken in gewone omstandigheden gelijk moeten loopen (denzelfden gang moeten hebben), en dat de moeilijkheid om daartoe te geraken de invoering van dit werktuig heeft verhinderd.

V o o r b e e l d.

Des morgens te 8^u is het 1ste uurwerk $2^u\ 6^m$ vóór het 2de. Men brengt den hefboom in verbinding, en bevindt te 10^u, dat het 1ste uurwerk $2^u\ 6^m\ 40^s$ vóór het 2de is. Men vraagt de gezeilde verheid sedert 8^u, als een versnelling van 10^s overeenkomt met een verheid van 1 mijl.

Uurwerk vóór te 8^u	$2^u 6^m\ 0^s$
„ „ „ 10^u	$2^u 6^m 40^s$
versnelling	40^s

De gevraagde verheid zal dus zijn $\frac{40}{10} = 4$ mijl.

e. *De patent-perpetual log van* BERTHON.

Deze log berust op het beginsel, dat de hoogte, waartoe een vloeistof in een buis opstijgt, afhangt van de snelheid, waarmede de buis in die vloeistof bewogen wordt, en dus de maat voor die snelheid kan zijn.

De beschikbare ruimte laat niet toe, een beschrijving van dit op onze schepen niet in gebruik zijnde werktuig te geven. Men zie daarover het N a u t i c a l - M a g a z i n e voor 1850, of het tijdschrift: V e r h a n d e l i n g e n e n B e r i c h t e n b e t r e k k e l i j k h e t Z e e w e z e n, voor 1851.

Bij de log van POLENI, BOUGUER, AYRE en BURLER-ROWLEY, wordt de tegenstand, dien een achter het schip slepend voorwerp van het water ondervindt, als maat voor de snelheid aangenomen. Door dien tegenstand wordt een binnen boord geplaatste veer min of meer gespannen, en door een aan die veer verbonden index wordt de vaart van het schip ieder oogenblik aangegeven. Het is echter duidelijk, dat de aanwijzingen van dergelijke werktuigen, bij sterke bewegingen van het schip, geen vertrouwen kunnen verdienen.

d. *De log van* BOUGUER.

Een andere door BOUGUER voorgestelde inrichting is als een wijziging van de gewone log te beschouwen. Hij brengt namelijk, in de plaats van het logplankje, een in de richting der as doorboorden kegel, die aan den onderkant is uitgehold. De loglijn, door den kegel heengaande, heeft aan het einde twee rechthoekig op elkander bevestigde ijzeren plaatjes, en op een afstand van ongeveer 20 meter van deze plaatjes, een knoopje, waardoor zij aan den top des kegels wordt opgehouden. In de nabijheid

van het knoopje, is zij van een enkelen hanepoot voorzien, die met een pen in een daarvoor in den kegel gemaakt gaatje gestoken wordt, als de toestel gebruikt zal worden. Is nu de kegel met de plaatjes in dien toestand over boord geworpen, dan zal de kegel, door de gezonken plaatjes, beter zijne plaats behouden, dan dit met het gewone logplankje het geval zal wezen. Bij het inhalen der lijn laat het pennetje los, de loglijn loopt door den kegel, tot de plaatjes in de uitholling voorkomen, en de geheele toestel zal dus weinig wederstand bieden.

e. De grondlog.

Bevindt men zich op weinig diepte, dan kan men, ter bepaling van de vaart van het schip over den grond, met vrucht gebruik maken van de grondlog. Deze is hierin van de gewone log onderscheiden, dat er in de plaats van het plankje een lood komt. Wil men met groote juistheid te werk gaan, dan zal men in het oog dienen te houden, dat de lengte der uitgeloopen lijn de hypotenusa is van den rechthoekigen driehoek, waarvan de diepte de eene en de gezeilde verheid de andere rechthoekszijde is.

III. HET GISSEN BUITEN BOORD.

Wanneer een schip met zekere snelheid door het water gaat, dan zullen lichte voorwerpen, die b. v. bij de fokkerust over boord worden geworpen, met gelijke snelheid langs het schip drijven. Is er nu zekere lengte langs de zijde van het schip afgezet, dan zal men uit den tijd, dien het voorwerp besteedt om dien afstand te doorloopen, de vaart van het schip gemakkelijk kunnen opmaken. Legt het schip in 4u één mijl af, dan doorloopt het in één secunde 0,514 meter; doorloopt het in één secunde $n \times 0{,}514$ meter, dan is de snelheid n mijlen per wacht; doch besteedt het om dien afstand te doorloopen p secunden, dan is de vaart klaarblijkelijk $\frac{n}{p}$ mijlen.

Maakt men b. v. den afstand langs de verschansing $30 \times 0{,}514$ meter en heeft een voorwerp 5 secunden noodig, om dien schijnbaar te doorloopen, dan is de vaart $\frac{30}{5} = 6$ mijlen.

Om den verloopen tijd te bepalen, begeeft zich een waarnemer ter hoogte van het vooreinde van den afgepasten afstand, en werpt daar een houtspaander of iets dergelijks te loevert naar voren over boord. Zoodra hij het voorwerp dwars van het eerste merk ziet, roept hij: nul.

Een ander waarnemer heeft zich intusschen ter hoogte van het andere merk geplaatst, met een secundehorologie, en begint de secunden te tellen van het oogenblik, waarop de 1ste waarnemer nul heeft geroepen. Hij let op het voorwerp, houdt op met tellen, zoodra hij het dwars van zijn merk ziet en kent daardoor het aantal secunden, dat er tot het doorloopen van den gestelden afstand benoodigd was. Deze methode leidt, bij weinig vaart en een moeilijke zee, tot een nauwkeuriger resultaat, dan door de gewone log te verkrijgen is.

Het is zaak het deeltal of den afstand zoo groot mogelijk te nemen, omdat een mogelijke fout in den verloopen tijd, in dat geval, minder invloed op het resultaat zal hebben, dan wanneer de ruimte kleiner is. De noodige vaardigheid in het tellen wordt gemakkelijk verkregen.

IV. HET OPMAKEN DER WACHTLEI.

Het is de gewoonte op onze oorlogschepen, ieder half uur, of met ieder glas te loggen, ten einde zoo na mogelijk rekening te houden van de onregelmatigheden der vaart, die gedurende de wacht plaats grijpen. Telkens wanneer er gelogd is, worden zoowel de gestuurde koers of liever de streek, die het schip gedurende het afgeloopen halfuur heeft voorgelegen, als de vaart van het schip op de wachtlei aangeteekend, en bij het einde der wacht, worden daaruit de behouden koers en de verheid opgemaakt. Men heeft b. v. opgeteekend:

1ste	glas	koers	NO	gelogd	4	mijl
2de	„	„	„	„	4½	„
3de	„	„	„	„	5	„
4de	„	„	„	„	6½	„
5de	„	„	„	„	5	„
6de	„	„	„	„	5½	„
7de	„	„	„	„	4	„
8ste	„	„	„	„	5½	„

gemiddeld NO $\frac{40}{8} = 5$ mijl.

De behouden koers en de verheid zijn dus NO 5 mijl.

Men noemt dit het opmaken der wachtlei.

Vraagt men den behouden koers en de verheid in den loop der wacht, dan houde men in het oog, dat de verheid, die in elk glas gemaakt is, een achtste bedraagt van hetgeen door de log gevonden wordt, omdat de lengte van den knoop der loglijn, zooals wij vroeger gezien hebben, berekend is voor een tijdvak van 4u. Heeft men b. v. na het 1ste glas gelogd 4 mijl, dan beteekent zulks, dat het schip, als het de snelheid behield, die het op dat oogenblik bezat, in den tijd van 4 uren, 4 mij-

len zou afleggen. Het zal dus, naar de bovenstaande gegevens, in het 1ste glas $\frac{4}{8}$, in het 2de $\frac{4\frac{1}{2}}{8}$ mijl hebben doorloopen en men zal bijgevolg, om op zeker oogenblik de gezeilde verheid te kennen, het achtste moeten nemen van de som der in het afgeloopen tijdvak, om het half uur gelogde mijlen.

Vraagt men b. v. den behouden koers en de verheid na het 4de glas, dan is de bewerking aldus:

1ste	glas	NO	4	mijl
2de	„	„	4½	„
3de	„	„	5	„
4de	„	„	6½	„

gevraagde koers en verheid NO $\frac{20}{8} = 2\frac{1}{2}$ mijl.

Loopen de koersen gedurende de wacht een weinig uiteen, dan zoekt men een gemiddelden koers, door namelijk de som te nemen van het aantal streken, dat met elken koers overeenkomt, altijd van hetzelfde punt der roos afgerekend, en deze som door het aantal koersen te deelen. B. v.

1ste	glas	koers	N	van	het	W	gerekend =	8	str.
2de	„	„	N½O	„	„		„	8½	
3de	„	„	N¼O	„	„		„	8¼	
4de	„	„	N	„	„		„	8	
5de	„	„	N½W	„	„		„	7½	
6de	„	„	N¾W	„	„		„	7¼	
7de	„	„	N	„	„		„	8	
8ste	„	„	NtO	„	„		„	9	

$\frac{64\frac{1}{2}}{8} = 8\frac{1}{16}$.

De gemiddelde koers is mitsdien N$\frac{1}{16}$O.

Het spreekt van zelf, dat men ook van het N. had kunnen rekenen, doch men had dan de Oostelijke koersen positief en de Westelijke negatief moeten stellen of omgekeerd, en de algebraïsche som door 8 deelen.

Loopen de koersen echter meer dan drie streken uiteen, dan is het zaak slechts dezulke bij elkander te nemen, die genoegzaam overeenkomen, en twee, des noods meer koersen en verheden op te geven.

Voorbeeld. Op den voormiddag is bevonden:

1ste	glas	koers	NtO½O	gelogd	3	mijl
2de	„	„	NNO	„	3½	„
3de	„	„	NtO¾O	„	3¾	„
4de	„	„	NNO	„	4	„
5de	„	„	NW½N	„	4½	„
6de	„	„	NW¼W	„	4½	„
6de	„	„	NW¼N	„	4¾	„
8ste	„	„	NW½W	„	4¼	„

Voegen wij nu de gelijknamige koersen bij elkander, dan wordt:

NtO$\frac{1}{2}$O	1$\frac{1}{2}$ str.	3	mijl	NW$\frac{1}{2}$N	3$\frac{1}{2}$ str.	4$\frac{1}{2}$	mijl
NNO	2 „	3$\frac{1}{2}$	„	NW$\frac{1}{4}$W	4$\frac{1}{4}$ „	4$\frac{1}{2}$	„
NtO$\frac{3}{4}$O	1$\frac{3}{4}$ „	3$\frac{3}{4}$	„	NW$\frac{1}{4}$N	3$\frac{3}{4}$ „	4$\frac{3}{4}$	„
NNO	2 „	4	„	NW$\frac{1}{2}$W	4$\frac{1}{2}$ „	4$\frac{1}{4}$	„
	7$\frac{1}{4}$ str.	14$\frac{1}{4}$	mijl.		16 str.	18	mijl.

Berekent men hieruit den koers en de verheid, dan vindt men:

$$\frac{7\frac{1}{4}}{4} = 1\tfrac{3}{4} \text{ str. of NtO}\tfrac{3}{4}\text{O}, \qquad \frac{14\frac{1}{4}}{8} = 1\tfrac{3}{4} \text{ mijl},$$

$$\frac{16}{4} = 4 \text{ str. of NW}, \qquad \frac{18}{8} = 2\tfrac{1}{4} \text{ mijl},$$

en in het journaal zal dus worden ingeschreven:

Voormiddag { 4 glazen behouden koers en verheid NtO$\frac{3}{4}$O 1$\frac{3}{4}$ mijl
4 „ „ „ „ „ NW 2$\frac{1}{4}$ „ .

Wanneer de vaart, in het eene gedeelte der wacht, aanmerkelijk verschilt van die in het andere, en ook de koersen eenigszins veranderen, dan zal men niet kunnen volstaan met eenvoudig, zooals tot dus verre geschied is, het gemiddelde der koersen te nemen. Het is namelijk duidelijk, dat er, als men b. v. op de wachtlei vindt: NO 2 mijl en ONO 8 mijl, niet NOtO zal behouden zijn, maar dat de koers dichter bij die streek zal vallen, waarin de meeste vaart geloopen is, zijnde hier de streek ONO. Om in dit geval den meest waarschijnlijken koers te verkrijgen, vermenigvuldigt men elke verheid met het aantal streken van den daarbij behoorenden koers, van hetzelfde punt der roos gerekend, en deelt de som dier producten door het aantal gezeilde mijlen. Het quotient, dat men alsdan verkrijgt, zal het aantal streken zijn van den koers, die het meest tot den middelbaren koers in het gegeven tijdvak zal naderen.

Men vindt op deze wijze:

NO	of 4 str.	gelogd	2 mijl	$2 \times 4 = 8$
ONO	„ 6 „	„	8 „	$6 \times 8 = 48$
			10 mijl	som = 56.

$$\text{Meest waarschijnlijke koers} = \frac{56}{10} = 5\tfrac{3}{5} \text{ streek of NOtO}\tfrac{3}{5}\text{O}.$$

Voorbeeld. Op den achtermiddag is de wachtlei aldus ingevuld:

1ste	glas	koers	ZW	gelogd	8	mijl
2de	„	„	ZW$\frac{1}{2}$W	„	8	„
3de	„	„	ZW$\frac{1}{4}$W	„	10	„
4de	„	„	W$\frac{1}{2}$Z	„	2	„
5de	„	geen vertier				
6de	„	koers	WtZ	„	1	„
7de	„	„	W$\frac{1}{4}$Z	„	2	„
8ste	„	„	WZW$\frac{1}{2}$W	„	2	„

Men vraagt welke koers, als de meest waarschijnlijke, in het journaal moet worden ingeschreven?

1ste	glas	ZW	of	4	str.	gelogd	8 mijl	$4 \times 8 = 32$
2de	„	ZW$\frac{1}{2}$W	„	$4\frac{1}{2}$	„	„	8 „	$4\frac{1}{2} \times 8 = 36$
3de	„	ZW$\frac{1}{4}$W	„	$4\frac{1}{4}$	„	„	10 „	$4\frac{1}{4} \times 10 = 42{,}5$
4de	„	W$\frac{1}{2}$Z	„	$7\frac{1}{2}$	„	„	2 „	$7\frac{1}{2} \times 2 = 15$
5de	„	geen vertier				„	0 „	$= 0$
6de	„	WtZ	„	7	„	„	1 „	$7 \times 1 = 7$
7de	„	W$\frac{1}{4}$Z	„	$7\frac{3}{4}$	„	„	2 „	$7\frac{3}{4} \times 2 = 15{,}5$
8ste	„	WZW$\frac{1}{2}$W	„	$6\frac{1}{2}$	„	„	2 „	$6\frac{1}{2} \times 2 = 13$
							som = 33	som = 161.

Meest waarschijnlijke koers $= \frac{161}{33} = 4\frac{7}{8}$ streek of ZW$\frac{7}{8}$W.

Verheid $= \frac{33}{8} = 4\frac{1}{8}$ mijl.

Het zal wel bijna overbodig zijn de aandacht te vestigen op de omstandigheid, dat men, wanneer in den loop van het glas de vaart van het schip verandert, die verandering in aanmerking heeft te nemen.

Is het b. v. in zekere wacht tot het 4de glas dood stil, doch komt er een kwartier later een stijve bries door, waardoor het schip 6 mijl loopt, dan zal men klaarblijkelijk voor het 5de glas invullen 3 mijl; zoodat, wanneer het schip tot 8 glazen die vaart behoudt, de gezeilde verheid zal zijn $\frac{21}{8} = 2\frac{5}{8}$ mijl.

Ook bij koersverandering, in den loop van het glas, moet nog daarop gelet worden. Ter voorkoming van vergissingen, is het raadzaam, dat men in dat geval den gemiddelden koers en de vaart in het volle glas bepaalt en vervolgens op de gewone wijze de wachtlei opmaakt.

Stel b. v., dat men vindt opgeteekend:

1ste	glas	Oost	gelogd	5 mijl
2de	„	O$\frac{1}{2}$Z	„	4 „
{ $2\frac{1}{2}$de	„	OtZ	„	6 „
{ 3de	„	O$\frac{1}{2}$N	„	4 „

dan zullen wij dit aldus kunnen schrijven:

1ste	glas		Oost	0 str.	5 mijl
2de	„		O$\frac{1}{2}$Z	$+\frac{1}{2}$ „	4 „
3de	„	gemidd.	O$\frac{1}{4}$Z	$+\frac{1}{4}$ „	5 „

waaruit voor den behouden koers, op het einde van het 3de glas:

[illegible] $= \frac{1}{4}$ str. of O$\frac{1}{4}$Z. Verh. $= \frac{14}{8} = 1\frac{3}{4}$ mijl.

Het volgende geval komt mede in de praktijk dikwijls voor.

Een schip loopt gedurende de eerste wacht:

bij het	1ste	glas	5 mijl
„ „	2de	„	6 „
„ „	3de	„	7 „
„ „	4de	„	6 „
tusschen het 4de en	5de	„	8 „

Indien nu de kommandant gewaarschuwd wil worden, als er $3\frac{1}{2}$ mijl gemaakt is, vraagt men: hoe laat moet zulks geschieden?

Men redeneert nu aldus: Er moet gewaarschuwd worden, als er $3\frac{1}{2}$ mijl gemaakt is, en bij gevolg moet op dat oogenblik de som van het aantal gelogde mijlen $3\frac{1}{2} \times 8 = 28$ zijn. Bij het 4[de] glas nemen wij de proef en vinden 24 tot uitkomst; er ontbreekt dus nog iets aan, en dewijl het schip een weinig harder, namelijk 8 mijl loopt, zal midden tusschen het 4[de] en 5[de] glas, dat is te $10\frac{1}{4}^u$, het tijdstip zijn, waarop het schip de gevraagde verheid heeft gemaakt.

Bij het opteekenen van den koers moet er op gelet worden, dat de richting, waarin het schip voortgaat, niet altijd overeenstemt met de streek van het kompas, die het schip voorligt. De oorzaak hiervan, de wraak van het schip genoemd, is te zoeken in de zijdelingsche afdrift van het schip, ten gevolge van de werking van den wind op den romp en het tuig, en bij een zeilschip bovendien van de dwarsscheeps ontbonden kracht der zeilen. Komt de wind niet juist van achteren in, en nemen wind en zee toe, zoodat men minder zeil moet voeren en dus minder vaart loopt, dan neemt de wraak toe, en klimt tot acht streken, als het schip bijligt. Ofschoon sommigen de wraak rekenen naar de zeilen, die men voert, is het beter haar rechtstreeks te meten. Te dien einde peilt men, met behulp van een verdeelden halven cirkel den hoek, dien het kielwater, of wel, onder het loggen, dien de richting van het logplankje met de kiel van het schip maakt. Past men dan dezen hoek toe op den koers, dien het schip voorligt, dan zal men den werkelijk gezeilden koers verkrijgen, die op de wachtlei wordt aangeteekend. De genoemde halve cirkel, van lood of hout vervaardigd, en door stralen in streken verdeeld, is met de middellijn dwarsscheeps, midden op het hek bevestigd. Peilt men b. v. terwijl de koers Zuid is, het kielwater twee streken over bakboord, dan is de koers, dien men werkelijk opgaat, ZZW.

V. DE KOERS- EN VERHEIDSREKENING.

a. DE ZEILTREK OF LOXODROOM.

Zij A, fig. 1, een plaats op aarde. Denken wij ons een schip, dat bij zijn vertrek uit A steeds denzelfden koers stuurt, dan zal dit schip na verloop van eenigen tijd, b. v. een plaats B bereiken, na den weg AB te hebben afgelegd. Beschouwen wij deze lijn, met betrekking tot de bolvormige aarde, wat nader.

Behoudens de miswijzing, waarmede wij ons voor het oogenblik niet hebben bezig te houden, wijst de naald van het kompas voortdurend

de richting van het Noorden, dat is die van den meridiaan aan. Stuurt het schip nu steeds denzelfden koers, dan zal de weg, dien het schip aflegt, al de meridianen onder een standvastigen hoek snijden, en dewijl de meridianen in de polen convergeeren, zal de koerslijn geen rechte, maar een gebogen lijn zijn. Men geeft haar den naam van zeiltrek of loxodroom.

Ten einde de vergelijking dier kromme lijn te bepalen, verlengen wij haar tot dat zij den equator in een punt V snijdt, en brengen door een punt D, in de nabijheid van B gelegen, een meridiaan PI, dan kunnen wij $DI = \varphi$ en $VI = \alpha$ als coördinaten van het punt D aanmerken. Trekken wij verder door D den parallelcirkel LM, dan mag, dewijl de meridianen PI en PK zeer dicht bij elkander genomen zijn, de rechthoekige driehoek BFD als plat worden beschouwd.

Noemen wij BF of de differentiaal van φ, $d\varphi$; IK, $d\alpha$ en hoek $ADI =$ hoek DBF of den koershoek K, dan is in den genoemden driehoek

$$DF = BF \operatorname{tang} K = d\varphi \operatorname{tang} K.$$

Volgens de lagere wiskunde heeft men:

$$IK : DF = OI : O'D,$$

en dewijl $O'D = DO \cos\varphi = OI \cos\varphi$ is,

ook

$$IK : DF = OI : OI \cos\varphi = 1 : \cos\varphi,$$

waaruit

$$\text{(I)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad DF = IK \cos\varphi = d\alpha \cos\varphi.$$

Stellen wij de gevonden waarden van DF aan elkander gelijk, dan wordt,

$$d\alpha \cos\varphi = d\varphi \operatorname{tang} K,$$

en dus

$$d\alpha = \operatorname{tang} K \frac{d\varphi}{\cos\varphi},$$

waaruit, na integratie,

$$\text{(II)} \quad \ldots\ldots \quad \alpha = \operatorname{tang} K \text{ Nep log tang } (45^\circ + \tfrac{1}{2}\varphi) + C,$$

welke formule de vergelijking der loxodroom voorstelt.

Voeren wij in plaats van de coördinaat α, de Lengte l van het punt D in, dan is $IK = d\alpha = dl$ en wij hebben dus ook:

$$dl = \operatorname{tang} K \frac{d\varphi}{\cos\varphi}.$$

Om de betrekking tusschen φ en l te vinden, kunnen wij deze uitdrukking integreeren tusschen het punt V, waarvan de Breedte $= 0$ en de Lengte $= l_0$ is, en tusschen het punt D, waarvan de Breedte is φ en de Lengte l.

Hierdoor wordt

$$l = \int_0^\varphi \operatorname{tang} K \frac{d\varphi}{\cos\varphi}.$$

(III) . . . . . . $l = \text{tang}\, K\, \text{Nep log tang}\, (45^0 + \frac{1}{2}\varphi) + l_0$.

Stelt men in deze uitdrukking $\varphi = 90^0$, dan wordt $l = \infty$, hetgeen aantoont, dat de loxodroom een kromme lijn is, die in oneindig vele bochten om de pool loopt, zonder die nogtans immer te kunnen bereiken.

De waarden van K en l_0 bepalen de kromme lijn. Stelt men $K = 0$, dan wordt $l = l_0$; alle punten der kromme lijn hebben dezelfde Lengte en zij gaat mitsdien in een meridiaan over.

Voor het geval dat $K = 90^0$ is, redencere men aldus: Zij van een ander punt der kromme lijn de Breedte φ' en de Lengte l', dan is ook

$$l' = \text{tang}\, K\, \text{Nep log tang}\, (45^0 + \tfrac{1}{2}\varphi') + l_0.$$

Trekken wij deze vergelijking van (III) af, dan wordt

(IV) . $l - l' = \text{tang}\, K \{\text{Nep log tang}\, (45^0 + \frac{1}{2}\varphi) - \text{Nep log tang}\, (45^0 + \frac{1}{2}\varphi')\}$

of

$$(l - l')\,\text{cotg}\, K = \text{Nep log}\, \frac{\text{tang}\, (45^0 + \frac{1}{2}\varphi)}{\text{tang}\, (45^0 + \frac{1}{2}\varphi')}.$$

Is nu $K = 90^0$, dan wordt

$$0 = \text{Nep log}\, \frac{\text{tang}\, (45^0 + \frac{1}{2}\varphi)}{\text{tang}\, (45^0 + \frac{1}{2}\varphi')}$$

waaruit $\varphi = \varphi'$.

In dit geval gaat dus de loxodroom in eene parallel over.

De factor Nep log tang $(45^0 + \frac{1}{2}\varphi)$ draagt den naam van vergrootende Breedte van φ. Duiden wij haar aan door het teeken $\mathfrak{B}$, dan is

$$\mathfrak{B}\,\varphi = \text{Nep log tang}\, (45^0 + \tfrac{1}{2}\varphi),$$

of, in minuten boogs uitgedrukt

$$\mathfrak{B}\,\varphi = \frac{1}{\sin 1'}\, \text{Nep log tang}\, (45^0 + \tfrac{1}{2}\varphi).$$

Ter berekening met gewone logarithmen, wordt

$$\mathfrak{B}\,\varphi = \frac{\log \text{tang}\, (45^0 + \frac{1}{2}\varphi)}{M \sin 1'} = \frac{10800'}{\pi M} \log \text{tang}\, (45^0 + \tfrac{1}{2}\varphi),$$

als $M = 0{,}434294$ de modulus is van het gewone logarithmenstelsel. Hieruit volgt:

$$\log \mathfrak{B}\,\varphi = \text{C. log}\, (0{,}434294 \sin 1') + \log \log \text{tang}\, (45^0 + \tfrac{1}{2}\varphi)$$
$$= 3{,}898489 + \log \log \text{tang}\, (45^0 + \tfrac{1}{2}\varphi),$$

naar welke formule Tafel IX berekend is.

Voorbeeld. Men vraagt de vergrootende Breedte van 40°, door berekening te bepalen.

Nu is

$$\varphi = 40^0; \quad \tfrac{1}{2}\varphi = 20^0; \quad 45^0 + \tfrac{1}{2}\varphi = 65^0$$

$$\text{standvastige log} = 3{,}898489$$
$$\log \log \text{tang}\, 65^0 = \log 0{,}331328 = 9{,}520257$$
$$\log \mathfrak{B}\, 40^0 = 3{,}418746$$
$$\mathfrak{B}\, 40^0 = 2622',69$$

zooals in de tafel staat opgegeven.

Voor een Breedte van 90° is klaarblijkelijk $\mathfrak{B} = \pm \infty$. In sommige zeevaartkundige werken wordt de vergrootende Breedte opgegeven voor de afgeplatte aarde. Neemt men echter in aanmerking, dat al de formules, die tot de oplossing van de vraagstukken der zeilaadjes gebezigd worden, betrekking hebben op een bolvormige aarde, dan zal het geen verwondering baren, dat ook de vergrootende Breedten in Tafel IX, voor dien vorm van de aarde, door ons zijn opgegeven.

Niet onbelangrijk is het echter na te gaan, welke wijziging de grootheden der tafel moeten ondergaan, als men de afplatting in rekening wil brengen.

Vonden wij vroeger:

$$dl = \text{tang } K \frac{d\varphi}{\cos\varphi},$$

dan zal thans voor $d\varphi$ moeten genomen worden, het oneindig kleine stukje van den **elliptischen** meridiaan, dat op de Breedte φ ligt.

In figuur 18, waarin OE de straal van den bol is, is nu weder

$$BD : EF = O'B : OE = OB \text{ Sin. } O'OB : 1.$$

en terwijl φ' de géocentrische en φ de geographische breedte is,

$$BD = EF \times OB \cos\varphi' = EF \times x,$$

hieruit blijkt dat $d\mathfrak{B}$ niet gelijk $\frac{d\varphi}{\cos\varphi}$ is, maar gelijk aan $\frac{dS}{x}$, immers CD is niet $d\varphi$, maar dS en BD was bij den bolvorm $EF \cos\varphi$ en hier $EF \times x$.

Om nu x en y, zijnde de coördinaten van het punt B, uit te drukken in φ en $d\varphi$, is $dS = \sqrt{(dx^2 + dy^2)} = dx \sqrt{(1 + \frac{dy^2}{dx^2})}$, maar volgens een eigenschap der ellips is $\frac{dy}{dx} = -\text{cotg } \varphi$, dus $\frac{dy^2}{dx^2} = \text{cotg}^2\varphi$.

$$ds = dx\sqrt{(1 + \text{cotg}^2\varphi)} = \pm \frac{dx}{\sin\varphi}, \text{ zoodat}$$

$$d\mathfrak{B} = \pm \frac{dx}{x \sin\varphi} \text{ wordt.}$$

$$y = \text{subnormaal} \times tg\,\varphi = \frac{b^2}{a^2}\, x tg\,\varphi = (1 - e^2)\, x tg\,\varphi$$

Dit differentiëerende voor φ, x en y veranderlijk, geeft

$$dy = (1 - e^2)\, tg\,\varphi\, dx + (1 - e^2)\, x \frac{d\varphi}{\cos^2\varphi} = -dx \text{ cotg } \varphi$$

$$-\text{cotg } \varphi = (1 - e^2)\, tg\,\varphi + (1 - e^2) \frac{x}{dx} \times \frac{d\varphi}{\cos^2\varphi}$$

$$-\frac{x}{dx} = \frac{(1 - e^2)\, tg\,\varphi + \text{cotg } \varphi}{(1 - e^2)\frac{d\varphi}{\cos^2\varphi}} \text{ of } -\frac{dx}{x} = \frac{(1 - e^2)\frac{d\varphi}{\cos\varphi}}{\sin\varphi - e^2 \sin\varphi + \frac{\cos^2\varphi}{\sin\varphi}}$$

$$\text{dus } d\mathfrak{B} = \frac{(1 - e^2)\, d\varphi}{(1 - e^2\sin^2\varphi)\cos\varphi} = \frac{(1 - e^2\sin^2\varphi)\, d\varphi}{(1 - e^2\sin^2\varphi)\cos\varphi} - \frac{e^2(1 - \sin^2\varphi)\, d\varphi}{(1 - e^2\sin^2\varphi)\cos\varphi} =$$

$$= \frac{d\varphi}{\cos\varphi} - \frac{e^2\cos\varphi}{1 - e^2\sin^2\varphi}\, d\varphi.$$

Nu is de eerste term dezelfde dien wij vinden voor de vergrootende breedte bij den aangenomen bolvorm der aarde, en den tweeden term integreerende verkrijgen wij de correctie die voor de afplatting moet worden toegepast.

$$\int \frac{e^2 \cos\varphi\, d\varphi}{1 - e^2 \sin^2\varphi} = \int \frac{\frac{1}{2} e^2 \cos\varphi\, d\varphi}{1 + e\sin\varphi} + \int \frac{\frac{1}{2} e^2 \cos\varphi\, d\varphi}{1 - e\sin\varphi} = \tfrac{1}{2} e \int \frac{de\sin\varphi}{1 + e\sin\varphi} +$$

$$+ \tfrac{1}{2} e \int \frac{de\sin\varphi}{1 - e\sin\varphi} = \tfrac{1}{2} e \int \frac{d(1 + e\sin\varphi)}{1 + e\sin\varphi} - \tfrac{1}{2} e \int \frac{d(1 - e\sin\varphi)}{1 - e\sin\varphi} =$$

$$= \tfrac{1}{2} e \,\text{Nep log}\, \frac{1 + e\sin\varphi}{1 - e\sin\varphi}.$$

$$\text{Nep log}\,(1 + e\sin\varphi) = e\sin\varphi - \frac{e^2 \sin^2\varphi}{2} + \frac{e^3 \sin^3\varphi}{3} - \dots\dots$$

$$\text{Nep log}\,(1 - e\sin\varphi) = -e\sin\varphi - \frac{e^2 \sin^2\varphi}{2} - \frac{e^3 \sin^3\varphi}{3} - \dots\dots$$

zoodat de geheele correctie wordt $-\left\{e^2 \sin\varphi + \frac{1}{3} e^4 \sin^3\varphi + \dots\right\}$. Dit is dus de verbetering, die voor de afgeplatte aarde op de vergrootende Breedte uit Tafel IX moet worden toegepast. Voor de getallenwaarde der coëfficienten van $\sin\varphi$ en $\sin^3\varphi$ in minuten uitgedrukt, hebben wij:

$\log e^2$	$= 7{,}824410-10$	$\log e^4$	$= 5{,}648821-10$
C „ sin 1′	$= 3{,}536274$	C „ sin 1′	$= 3{,}536274$
	$= 1{,}360684$	C „ 3	$= 9{,}522879-10$
	$= 22',945$		$= 8{,}707974-10$
			$= 0',051$

en dus:

verbetering $= -\{22',945 \sin\varphi + 0',051 \sin^3\varphi\}$.

Voor de afplatting is genomen naar BESSEL $\dfrac{1}{299{,}1528}$.

Vraagt men bij voorbeeld de vergrootende Breedte van 40° voor de afgeplatte aarde, dan is de bewerking aldus:

40° log sin	$= 9{,}808067$	3 log sin 40° =	9,424201
22′,945 log	$= 1{,}360684$	0′,051 log =	8,707974
log 1e term	$= 1{,}168751$	log 2e term =	8,132175—10
1e term	$= 14',749$	2e term =	0′,0135
		1e term =	14′,749
		verbetering =	14′,763 (—)
		𝔙 40° =	2622′,69
		gevraagde vergrootende Breedte =	2607′,93

De bedoelde verbetering kan nimmer meer bedragen dan 22′,996.

Een zeer gemakkelijke manier om de vergrootende Breedte voor de afgeplatte aarde te ontleenen aan Tafel IX, ofschoon deze voor de bolvormige aarde berekend is, is de volgende. Men zoekt voor de gegeven Breedte de waarde van $(\varphi - \varphi')$ uit de tafel van bladz. 10 en herleidt daarmede de gegeven Breedte tot geocentrische Breedte. Met de laatstgenoemde zoekt men vervolgens in Tafel IX de daarbij behoorende vergroo-

tende Breedte, waardoor de gevraagde vergrootende Breedte voor een afplatting $= \frac{1}{299,1528}$ vrij nauwkeurig zal gevonden zijn. Passen wij deze handelwijze op het bovenstaande voorbeeld toe, dan is:

$$\begin{aligned} \text{gegeven Breedte} &= 40^\circ\ 0'\ 0'' \\ (\varphi-\varphi') &= \quad 11'20'' \\ \hline \text{geocent. Breedte} &= 39^\circ 48' 40'' \\ VB\ 39^\circ 48' 40'' &= 2607',92 \end{aligned}$$

hetgeen met de vroeger gevonden waarde slechts 0',01 verschilt.

b. Algemeene formules der zeilaadjes.

Gaan wij thans over tot het zoeken der formules, waardoor men de bekomen Breedte en Lengte van het schip kan vinden, als de Breedte en Lengte van de afgevaren plaats, benevens de gezeilde koers en de verheid gegeven zijn. Zij daartoe A, fig. 1, de afgevaren, B de bekomen plaats. Trekken wij door A de parallel AC, dan is

$NA = b$ de afgevaren Breedte
$GN = l$ „ Lengte
$BC = \triangle b$ de veranderde Breedte
$NK = \triangle l$ „ Lengte
$AB = V$ de verheid
hoek $ABK =$ hoek $PAB = K$ de koershoek,

en wij zullen de betrekking tusschen K, V, $\triangle b$ en $\triangle l$ hebben te bepalen.

1°. Formule voor de veranderde Breedte.

Trekken wij door eenig punt D, dat wij zeer dicht bij B nemen, den meridiaan PI en het boogje der parallel DF, dan is, in den oneindig kleinen driehoek DBF,

$$BF = DB \cos K$$

of, dewijl $BF = d \triangle b$ en $DB = dV$ is,

$$d \triangle b = d\, V \cos K,$$

waaruit na integratie tusschen de grenzen A en B,

(V) . . . . $\triangle b = V \cos K.$

2°. Formule voor de afwijking.

Men verstaat door afwijking den weg, dien het schip Oost- of Westwaarts aflegt, als het van een plaats A, die onder zekeren meridiaan is gelegen, zeilt naar een plaats B, die onder een anderen meridiaan ligt.

Klaarblijkelijk stelt, in den driehoek DBF, DF de differentiaal dier afwijking voor, en wij vinden

$$DF = DB \sin K,$$

of

$$d\,\text{afw.} = dV \sin K,$$

waaruit, na integratie tusschen de grenzen A en B,

(VI) . . . . $\text{afw.} = V \sin K.$

Deelen wij (VI) door (V), dan vinden wij nog

(VII) . . . . $\text{afw.} = \triangle b \,\text{tang}\, K,$

zooals ook rechtstreeks uit driehoek DBF was op te maken.

3°. Formule voor de veranderde Lengte.

Noemen wij b' en l' de Breedte en Lengte van het punt B, dan is $l' - l = \triangle l$.

Passen wij de vroeger gevonden formule (IV) op ons geval toe, dan is

$$l' - l = \triangle l = \text{tang}\, K \{\text{Nep log tang}\,(45^0 + \tfrac{1}{2} b') - \text{Nep log tang}\,(45^0 + \tfrac{1}{2} b)\}$$

$$\triangle l = \text{tang}\, K \{VB\, b' - VB\, b\}$$

(VIII) $\triangle l = \text{tang}\, K \times$ het verschil der vergrootende Breedten van b' en b.

Volgens de hoogere wiskunde laat zich de factor $(VB\, b' - VB\, b)$ uit de voorgaande formule ook aldus schrijven:

$$VB\, b' - VB\, b = \frac{\triangle b}{\cos b} + \frac{(\triangle b)^2 \sin 1'}{2} \cdot \frac{\sin b}{\cos^2 b} + \frac{(\triangle b)^3 \sin^2 1'}{2\,.\,3} \cdot \frac{(1 + \sin^2 b)}{\cos^3 b}.$$

Deze uitdrukking, in (VIII) gesubstitueerd, geeft:

$$\triangle l = \triangle b \,\text{tang}\, K \left\{\frac{1}{\cos b} + \frac{\triangle b \sin 1'}{2} \cdot \frac{\sin b}{\cos^2 b} + \frac{(\triangle b)^2 \sin^2 1'}{2\,.\,3} \cdot \frac{(1 + \sin^2 b)}{\cos^3 b}\right\}.$$

Nu is, op zeer weinig na,

$$\frac{1}{\cos b} + \frac{\triangle b \sin 1'}{2} \cdot \frac{\sin b}{\cos^2 b} + \frac{(\triangle b)^2 \sin^2 1'}{2\,.\,3} \cdot \frac{(1 + \sin^2 b)}{\cos^3 b} = \frac{1}{\cos\,(b + \frac{1}{2} \triangle b)},$$

en wij hebben dus,

$$\triangle l = \triangle b \,\text{tang}\, K \frac{1}{\cos\,(b + \frac{1}{2} \triangle b)},$$

of, dewijl $\triangle b \,\text{tang}\, K =$ afwijking, en $(b + \frac{1}{2} \triangle b) = \frac{1}{2}(b + b')$ is,

(IX) . . . . $\triangle l = \text{afw. sec}\, \tfrac{1}{2}(b + b'),$

waarin $\frac{1}{2}(b + b')$ de Middelbreedte genoemd wordt.

Vereenigen wij de gevonden uitdrukkingen, dan verkrijgen wij, voor de oplossing der vraagstukken van de zeilaadjes, het navolgende stel formules:

$$\begin{aligned} \triangle b &= V \cos K \\ \text{afw.} &= V \sin K \\ \text{afw.} &= \triangle b \operatorname{tang} K \\ \triangle l &= \operatorname{tang} K. \text{ verschil } VB \\ \triangle l &= \text{afw. sec Middelbr.} \end{aligned}$$

met behulp waarvan nu alle vraagstukken der zeilaadjes gemakkelijk worden opgelost.

De afleiding der gevonden formules had ook nog op de volgende wijze kunnen geschieden.

Trekken wij tusschen de punten A en B, fig. 21, een willekeurig aantal meridianen, waarvan de afstand zoo klein genomen kan worden als men verkiest, dan zullen wij ons de loxodroom AB kunnen voorstellen, als te bestaan uit de aaneenschakeling van de rechte lijntjes Aa, ab, bc, enz. Brengen wij vervolgens door de deelpunten A, a, b, enz. bogen van parallelcirkels, dan zullen wij de driehoekjes Aag, abf, enz. als rechtlijnig kunnen aanmerken. In deze driehoekjes is, als wij de vroegere bekortingen bezigen,

$$\begin{aligned} ag &= Aa \cos K \quad \text{en} \quad Ag = Aa \sin K \\ bf &= ab \cos K \qquad\quad af = ab \sin K \\ ce &= bc \cos K \qquad\quad be = bc \sin K \\ Bh &= Bc \cos K \qquad\quad ch = cB \sin K \end{aligned}$$

waaruit wij door optelling vinden:

$$\begin{aligned} ag + bf + ce + Bh &= \cos K\,(Aa + ab + bc + Bc) \\ Ag + af + be + ch &= \sin K\,(Aa + ab + bc + Bc). \end{aligned}$$

Klaarblijkelijk is

$$\begin{aligned} Aa + ab + bc + Bc &= V \\ ag + bf + ce + Bh &= \triangle b \\ Ag + af + be + ch &= \text{afwijking}, \end{aligned}$$

en wij hebben dus, even als vroeger,

$$\begin{aligned} \triangle b &= V \cos K \\ \text{afw.} &= V \sin K, \end{aligned}$$

waaruit nog

$$\text{afw.} = \triangle b \operatorname{tang} K.$$

De beschouwing der figuur zal ons dadelijk doen inzien, dat de afwijking grooter is dan de boog DB, doch kleiner dan de boog AC. Nu zullen wij echter dicht aan de waarheid komen, als wij haar voorstellen door het stuk van de parallel EF, dat begrepen is tusschen de meridianen van A en B, en gelegen op een Breedte, die juist valt tusschen die van de parallellen AC en DB; en dewijl, volgens formule (I),

$$EF = A'B' \cos \text{Breedte } E$$

is, zoo komt

$$\text{afw.} = \triangle l \cos \tfrac{1}{2}(b + b')$$

of

$$\triangle l = \text{afw. sec } \tfrac{1}{2}(b + b').$$

Om de andere formule voor de veranderde Lengte te vinden, redeneere men aldus: Zij de verheid AB in n gelijke deelen gedeeld, dan is

$$Aa = ab = bc \text{ enz.}$$

en dus ook

$$Ag = af = be \text{ enz.} \quad \text{en} \quad ag = bf = ce \text{ enz.}$$

Vermenigvuldigen wij nu elke afwijking met den secans der Breedte, waarop zij ligt, dan komt er

$$A'a' = Ag.\sec b$$
$$a'b' = af.\sec (b + \frac{\triangle b}{n})$$
$$b'c' = be.\sec (b + 2\frac{\triangle b}{n})$$
enz.

en door optelling, terwijl wij in aanmerking nemen, dat

$$A'a' + a'b' + b'c' + \text{enz.} = \triangle l$$
$$\text{en } Ag = af = be \text{ enz.} = \frac{\text{afw.}}{n} \text{ is,}$$

$$\triangle l = \frac{\text{afw.}}{n}\sec b + \frac{\text{afw.}}{n}\sec\left(b + \frac{\triangle b}{n}\right) + \frac{\text{afw.}}{n}\sec\left(b + 2\frac{\triangle b}{n}\right) + \ldots$$

of:

$$\triangle l = \text{afw.}\,\frac{\sec b + \sec\left(b + \frac{\triangle b}{n}\right) + \sec\left(b + 2\frac{\triangle b}{n}\right)\ldots + \sec\left(b + (n-1)\frac{\triangle b}{n}\right)}{n}.$$

Is verder a een zeer klein boogje van den meridiaan, zoodanig, dat

$$\triangle b = n\,.\,a$$

is, dan wordt $n = \frac{\triangle b}{a}$, hetwelk in de vorige vergelijking gesubstitueerd, haar doet overgaan in deze:

$$\triangle l = \text{afw.}\,\frac{a\{\sec b + \sec(b + a) + \sec(b + 2a) + \ldots \sec(b + (n-1)a)\}}{\triangle b}$$
$$= \text{tang } K\,.\,a\{\sec b + \sec(b + a) + \sec(b + 2a) + \ldots \sec(b + (n-1)a)\}$$
$$= \text{tang } K\,.\,a\{\sec o + \sec a + \sec 2a + \ldots \sec b + \sec(b + a)\,.\,\,. + \sec(b + \triangle b - a) - (\sec o + \sec a + \ldots \sec(b - a))\}.$$

Neemt men nu, zooals het behoort, a oneindig klein, en dus de secanten van punt tot punt, dan is

$$a\{\sec o + \sec a + \sec 2a \ldots + \sec b + \sec(b + a) \ldots + \sec(b + \triangle b - a)\}$$

een gewijzigde vorm voor de vergrootende Breedte van b', en

$$a\{\sec o + \sec a + \sec 2a \ldots + \sec(b - a)\}$$

een dergelijke voor de vergrootende Breedte van b, waardoor de formule overgaat in:

$$\triangle l = \text{tang } K(\mathfrak{B}\,b' - \mathfrak{B}\,b),$$

zooals ook vroeger gevonden is.

C. BIJZONDERE GEVALLEN.

1°. Noordelijke of Zuidelijke koersen.

Wanneer men van eenig punt, recht Noord- of Zuidwaarts stuurt, is de koershoek K, die altijd van het N of Z gerekend wordt, geluk nul, en de formules gaan over in

$$\triangle b = V;\ \text{afw.} = 0;\ \triangle l = 0.$$

Het schip verandert mitsdien alleen in Breedte, welke verandering uit den aard der zaak gelijknamig is met den koers.

Dewijl de meridianen groote cirkels zijn, zoo is

$$1^\circ = 60' = 15 \text{ D. mijlen}$$

en bij gevolg

$$4' = 1 \text{ mijl.}$$

Om dus de verheid, die in mijlen is uitgedrukt, tot graden en minuten te herleiden, deelt men haar door 15, en vermenigvuldigt de rest der deeling met 4. Zijn de afgevaren en de veranderde Breedte gelijknamig, dan is hare som, zijn zij ongelijknamig, dan is haar verschil de bekomen Breedte, die in het laatste geval gelijknamig zal zijn met de grootste.

Voorbeeld. Van 20°10′ N. Breedte wordt gezeild Noord 56 mijl. Men vraagt de bekomen Breedte.

Verheid = 56 mijl		Afgevaren N. Breedte =	20°10′
= 3°44′		Veranderd N. =	3°44′
		Bekomen N. Breedte =	23°54′.

Voorbeeld. Van 30°20′ Z. Breedte wordt gezeild recht Noord 10 mijl. Men vraagt als boven.

Verheid = 10 mijl		Afgevaren Z. Breedte =	30°20′
= 40′		Veranderd N. =	40′
		Bekomen Z. Breedte =	29°40′

Voorbeeld. Van 2°21′ N. Breedte wordt gezeild 62 mijl recht Zuid. Men vraagt als boven.

Verheid = 62 mijl		Afgevaren N. Breedte =	2°21′
= 4°8′		Veranderd Z. =	4° 8′
		Bekomen Z. Breedte =	1°47′.

Wanneer het verschil in Breedte gegeven is tusschen twee plaatsen, die op dezelfde Lengte liggen, dan vindt men, met behulp der formule $\triangle b = V$, lichtelijk den afstand tusschen die beide plaatsen.

Voorbeeld. Wat is de afstand tusschen de plaatsen A en B, als A ligt op 36°20′ N.Br. en B op 50°10′ N.Br., terwijl de Lengte dezelfde is?

N. Breedte B = 50°10′
„ A = 36°20′
Afstand = Breedteverschil = 13°50′.

Om dezen afstand in mijlen uit te drukken, vermenigvuldigen wij de graden met 15 en deelen de minuten door 4.

Aldus komt:

$$13^\circ \times 15 = 195 \text{ mijl}$$
$$\frac{50'}{4} = 12\tfrac{1}{2} \text{ „}$$
$$\text{Afstand} = 13^\circ 50' = 207\tfrac{1}{2} \text{ mijl.}$$

Voorbeeld. Men vraagt den afstand tusschen twee plaatsen A en B, die onder denzelfden meridiaan gelegen zijn, als A op 14° N.Breedte en B op 3° Z.Breedte ligt.

N. Breedte $A = 14^\circ$
Z. Breedte $B = 3^\circ$
Afstand = Breedteverschil $= 17^\circ$
of in mijlen $= 255$.

2°. Oostelijke of Westelijke koersen.

Valt de koers Oost- of Westwaarts, dan is $K = 90^\circ$ en de formules zullen voor dit geval zijn:

$$\triangle b = 0; \text{ afwijking} = V; \triangle l = \text{afw. sec } b = V \text{ sec } b.$$

Men zal dus de verheid hebben te vermenigvuldigen met den secans der Breedte, waarop men zich bevindt, om de veranderde Lengte te bekomen. Deze berekening is echter overbodig, dewijl men in Tafel VII, die naar deze formule is samengesteld, voor een gegeven Breedte en verheid, onmiddellijk de overeenkomstige veranderde Lengte kan opzoeken.

De wijze, waarop men door de afgevaren en de veranderde Lengte, de bekomene vindt, is dezelfde als die voor de Breedte, mits men Oost of West in de plaats van Noord of Zuid schrijve. Vindt men, in geval van gelijknamigheid, de som grooter dan 180°, dan kan men de aldus verkregen Lengte van 360° aftrekken, doch zal dan tevens hare benaming moeten veranderen.

Voorbeeld. Van 20° Z. Breedte en 54°40′ W. Lengte wordt gezeild West 40 mijl. Men vraagt de bekomen Lengte.

Verheid = 40 mijl
= 160′

Op 20° Breedte geeft 8′ afw. 8′,51 $\triangle l$
dus „ 160′ „ 170′,2 „
= 2°50′,2

Afgev. W. Lengte = 54°40′
Verand. W. = 2°50′,2
Bekomen W. Lengte = 57°30′,2.

Voorbeeld. Van 51°45' N.Br. en 21°30' W.L. wordt gezeild 123 mijl recht Oost. Men vraagt de bekomen Lengte.

Verheid = 123 mijl
= 492'

Op 51° 0' Breedte geeft	10' afw.	15',89 $\triangle l$
voor 45' „		0,26
op 51°45' Breedte geeft	10' afw.	16',15 $\triangle l$
	dus 500' „	807',50 „
	8' „	12',92 „
	492' afw. =	794',58 $\triangle l$
		= 13°14',6

Afgev. W. Lengte = 21°30'
Verand. O. = 13°14',6
Bekomen W. Lengte = 8°15',4.

Met behulp der formule was de berekening aldus geweest:

$V =$ 492'	log = 2,691965
$b = 51°45'$	log sec = 0,208243
	log $\triangle l$ = 2,900208
	$\triangle l$ = 794',7 = 13°14',7

ongeveer als door de tafel.

Voorbeeld. Een schip zeilt van een punt, gelegen op 40° Z.Br. en 5°12' O.L. recht West 100 mijl. Men vraagt de bekomen Lengte.

Verheid = 100 mijl
= 400'

Op 40° Br. geeft 10' afw.	13',05 $\triangle l$
dus 400' „	522',00 „
	= 8°42'

Afgev. O. Lengte = 5°12'
Verand. W. = 8°42'
Bekomen W. Lengte = 3°30'.

Voorbeeld. Van 32°30' N.Br. en 178°40' W.L. wordt gezeild 40 mijl recht West. Men vraagt de bekomen Lengte.

Verheid = 40 mijl
= 160'

Op 32° 0' Br. geeft	8' afw.	9',43 $\triangle l$
voor 30' „		0',05
op 32°30' Br. geeft	8' afw.	9',48 $\triangle l$
	dus 160' „	189',6 „
		= 3°9',6

Afgev. W. Lengte = 178°40'
Verand. W. = 3° 9',6
Bekomen W. Lengte = 181°49',6
of
O. Lengte = 178°10',4.

Het komt in sommige gevallen te pas, dat men, de veranderde Lengte kennende, de daarmede overeenkomstige afwijking moet kunnen vinden.

Dit kan zeer gemakkelijk geschieden door uit de formule

$$\triangle l = \text{afw. sec } b$$

de afw. op te lossen, waardoor men vindt:

$$\text{afw.} = \triangle l \cos b,$$

naar welke formule Tafel VIII berekend is.

In de volgende voorbeelden, die als toepassing van het bovenstaande kunnen aangemerkt worden, zullen wij het gebruik dier tafel nader leeren kennen.

Voorbeeld. Men vraagt den afstand tusschen twee plaatsen A en B, gelegen op 7°49′ W.L. en 25°5′ W.L., als de Breedte dier plaatsen 36°45′ bedraagt.

W. Lengte B =		25° 5′
„ A =		7°49′
verschil in Lengte = $\triangle l$		= 17°16′
		= 1036′

In Tafel VIII op 36° 0′ Br. geeft	10′ $\triangle l$	8′,09 afw.
45′ „ „		0′,08 „
dus op 36°45′ Br. geeft	10′ $\triangle l$	8′,01 afw.
dus	1000′ „	801′,0 „
	30′ „	24′,03 „
	6′ „	4′,81 „
	1036′ $\triangle l$	= 829′,84 afw. = 207,46 mijl.

Door de formule, zouden wij hebben:

$\triangle l = 1036'$	log = 3,015360
$b = 36°45'$	log cos = 9,903770
	log afw. = 2,919130
	afw. = 830′,1 = 207,5 mijl.

Het gebruik der formule is in vele gevallen gemakkelijker en geeft een nauwkeuriger resultaat dan de tafel.

Voorbeeld. Op welke Breedte verandert een schip, door Oostwaarts te zeilen, zooveel in Lengte, als het drievoud van de verheid bedraagt?

Volgens de gegevens is, als wij de afwijking x noemen, $\triangle l = 3x$, en dus

$$3x \cos b = x$$

waaruit

$$\text{nat. cos } b = \tfrac{1}{3} = 0,333333$$
$$\text{Gevraagde Breedte} = b = 70°31'44''.$$

Voorbeeld. Hoeveel mijlen bevat de boog van 1° der parallel, op 40° Breedte?

Dewijl de overeenkomstige boog van den equator 15 mijlen bevat, zoo is

$$\text{het gevraagde aantal mijlen} = \text{afw.} = 15 \cos 40°.$$

Met behulp van Tafel VIII vindt men:

op 40° Br.	$10 \triangle l =$	7,66 afw.
	5 „ =	3,83 „
„	15 „ =	11,49 „

en dus, als wij de eenheid, waarin de tafel is uitgedrukt, mijlen noemen:

het gevraagde aantal = 11,5 mijl.

Voorbeeld. Van twee havens, gelegen op 32°20′ N.Br. bij een onderlingen afstand van 64 mijl, zeilen twee schepen recht Noord 182,5 mijl. Men vraagt den onderlingen afstand dier schepen op de bekomen plaatsen.

Verheid = 182,5 mijl afstand = 64 mijl
„ = 12°10′ „ = 256′

Op 32°20′ Br. geeft	10′ afw.	11′,83 $\triangle l$
dus	200′ „	236′,6 „
	50′ „	59′,15 „
	6′ „	7′,10 „
„	256′ afw. =	302′,85 $\triangle l$.

Afgev. N. Br. = 32°20′
Verand. N. = 12°10′
Bekomen N. Br. = 44°30′.

Dewijl beide schepen recht Noord sturen, zoo verandert het Lengteverschil niet, en wij zullen slechts hebben na te gaan, met welke afwijking dat verschil op de bekomen Breedteparallel zal overeenstemmen.

Hiertoe hebben wij in Tafel VIII:

op 44°30′ Br. geeft	10′ $\triangle l$	7′,13 afw.
dus	300′ „	213′,90 „
	2′ „	1′,43 „
	0′,9 „	0′,64 „
	302′,9 $\triangle l$ =	215′,97 afw.

De gevraagde afstand bedraagt mitsdien $\frac{215',97}{4} = 54$ mijlen.

3°. Schuinsche koersen.

Men verstaat door een schuinschen koers het meest voorkomende geval, waarin de koerslijn den meridiaan onder een scheeven hoek snijdt. Klaarblijkelijk zal het schip dan zoowel in Breedte, als in Lengte veranderen, en wij zullen, ter berekening van de bekomen plaats, deze formules hebben te bezigen:

$\triangle b = V \cos K$; afw. $= V \sin K$; $\triangle l = (\mathfrak{B}\, b' - \mathfrak{B}\, b) \operatorname{tang} K =$ afw. $\sec \frac{1}{2}(b + b')$.

De oplossing van het vraagstuk wordt zeer vereenvoudigd door Tafel VI, de streektafel genoemd. Men behoeft namelijk $\triangle b$ en afw. niet rechtstreeks te berekenen, maar vindt in de genoemde tafel, voor de gezeilde verheid en den koers, onmiddellijk de bedoelde grootheden opgegeven. De afwijking hierdoor kennende, vindt men de veranderde Lengte, met behulp van Tafel VII, of wel, men zoekt, met behulp van

Tafel IX, het verschil der vergrootende Breedten van de afgevaren en de bekomen plaats, en vermenigvuldigt dit met den natuurlijken tangens van den koershoek, die aan het hoofd en aan den voet van de bladzijden der streektafel staat opgegeven. Deze tangens is in de tafel, om een algemeen aangenomen gebruik te volgen, opgegeven voor een straal = 100. Men houde zulks bij het opzoeken in het oog.

De veranderde Lengte wordt over het algemeen, door vergrootende Breedte, het gemakkelijkst en het nauwkeurigst gevonden. Is echter de koershoek grooter dan 6 streken, dan zal de tangens van dien hoek zeer groot worden, en dewijl een mogelijke fout in de gegevens, in dat geval, met een zeer groot getal vermenigvuldigd wordt, zoo zal deze meer nadeel op het resultaat uitoefenen, dan de fout, die men door de Middel-Breedte begaat. Bevindt men zich op geen grooteren afstand van den equator, dan 6° of 7°, dan mag de afwijking, als veranderde Lengte beschouwd, onmiddellijk op de afgevaren Lengte worden toegepast.

Zijn de veranderde Breedte en Lengte gevonden, dan past men die op de afgevaren Breedte en Lengte toe, zoo als dat in de beide vorige gevallen is aangewezen, ten einde de bekomen Breedte en Lengte te verkrijgen. De onderstaande voorbeelden zullen den aard der bewerking doen zien. Vooraf ga echter een

Voorbeeld van de berekening van Tafel VI.

Men vraagt de termen dier tafel te berekenen, als $K = 3$ streken en $V = 20'$ is.

$V = 20'$	$\log = 1{,}301030$	$\log = 1{,}301030$
$K = 3$ str. $= 33°45'$	$\log\cos = 9{,}919846$	$\log\sin = 9{,}744739$
	$\log \triangle b = 1{,}220876$	log afw. $= 1{,}045769$
	$\triangle b = 16',6$	afw. $= 11',1$

zooals in de kolommen ver. Br. en afw. onder 3 streken, naast 20 verh. wordt gevonden. Het is duidelijk, dat $\triangle b$ en afw. in dezelfde eenheid uitgedrukt worden gevonden, als die van V.

Voorbeeld. Van 40°36′ Z.Br. en 38°15′ O.L. is gezeild ZOtZ 47½ mijl. Men vraagt de bekomen Breedte en Lengte.

Verheid = 47½ mijl. ZOtZ = 3 streken.
= 190′

In tafel VI onder 3 streken, geeft 190′ verh. 158′,0 $\triangle b$ en 105′,5 afw.

Afgev. Z.Br. = 40°36′	Afgev. O.L. = 38°15′
Verand. Z. = 2°38′	Verand. O. = 2°21′,9
Bek. Z.Br. = 43°14′	Bek. O.L. = 40°36′,9
Middelbr. = 41°55′	

Op 41°55′ Br. geeft	10′ afw.	13′,45 $\triangle l$
dus	100′ „	134′,50 „
en	5′,5 „	7′,40 „
alzoo	105′,5 afw. =	141′,90 $\triangle l$ = 2°21′,9.

De koers is ZOtZ; mitsdien is de verandering in Breedte Zuidelijk, die in Lengte Oostelijk.

Lossen wij dit voorbeeld met behulp van de vergrootende Breedte op, dan komt:

Afgev. Z.Br. = 40°36′	$V\!B$ = 2669,89	Afgev. O.L. = 38°15′
Verand. Z. = 2°38′		Verand. O. = 2°21′,9
Bek. Z.Br. = 43°14′	$V\!B$ = 2882,28	Bek. O.L. = 40°36′,9
	Verschil = 212,39	
	tang K = tang 3 str. = 0,668	
	$\triangle\, l$ = product = 141′,87	
	= 2°21′,9	

Voorbeeld. Van 24°20′ N.Br. en 16°30′ W.L. wordt gezeild ZO½O 50 mijl. Men vraagt de bekomen plaats.

Verheid = 50 mijl. ZO½O = 4½ str.
= 200′

In 4½ streek, geeft 200′ verh. 126′,9 $\triangle\, b$.

Afgev. N.Br. = 24°20′	$V\!B$ = 1505,98	Afgev. W.L. = 16°30′
Verand. Z. = 2° 6′9		Verand. O. = 2°48′,4
Bek. N.Br. = 22°13′1	$V\!B$ = 1367,83	Bek. W.L. = 13°41′,6
	Verschil = 138,15	
	tang 4½ str. = 1,219	
	$\triangle\, l$ = 168,40	
	= 2°48′,4	

Voorbeeld. Van 8°15′ Z.Br. en 2°6′ W.L. zeilt men NOtO½O 470 mijl. Welke is de bekomen plaats?

Verheid = 470 mijl. NOtO½O = 5½ str.
= 1880′

In 5½ str. geeft	300 verh.	141,4 $\triangle\, b$
dus	1800 „	848,4 „
en	80 „	37,7 „
alzoo	1880′ verh.	886′,1 $\triangle\, b$
		= 14°46′,1

Afgev. Z.Br. = 8°15′	$V\!B$ = 496,72	Afgev. W.L. = 2° 6′
Verand. N. = 14°46′,1		Verand. O. = 27°42′,7
Bek. N.Br. = 6°31′,1	$V\!B$ = 391,95	Bek. O.L. = 25°36′,7
	Verschil = 888,67	
	tang 5½ str. = 1,871	
	$\triangle\, l$ = 1662′,70	
	= 27°42′,7	

Dewijl de afgevaren en de bekomen Breedte ongelijknamig zijn, moet klaarblijkelijk de som der vergrootende Breedten genomen worden. Verlangt men door Middelbreedte het vraagstuk op te lossen, dan ontstaat de vraag: welke Breedte moet daarvoor worden genomen? Wij vermeenen

dat de halve grootste Breedte, als Middelbreedte aangenomen, een uitkomst zal geven, die der waarheid het meest nadert.

Nemen wij dus

Middelbreedte $= \frac{1}{2}$ (8°15′) = 4°7′

en zoeken wij in 5¼ str. voor 1380′ verh., de afw., dan komt

afw. = 1658′,2

terwijl met behulp van Tafel VII gevonden wordt:

op 4°7′ Br.	10′	afw. =	10′,025	$\triangle l$
dus	1000′	„ =	1002′,5	„
	600′	„ =	601′,5	„
	50′	„ =	50′,13	„
	8′,2	„ =	8′,22	„
alzoo	1658′,2	afw. =	1662′,4	$\triangle l$.

ongeveer als door de vergrootende Breedte.

Ofschoon het in de praktijk nimmer voorkomt, dat men den koers in achtste streken rekent, zoo zoude dit nogtans in vraagstukken, die tot oefening gegeven worden, kunnen gevraagd worden. Men zoeke in dat geval, in de tafel, de grootheden voor de onmiddellijk voorgaande en volgende streken, en neme daarvan het gemiddelde.

De formules van bladz. 76 vinden nog hare toepassing bij de oplossing van sommige vraagstukken, die als bijzondere gevallen der schuinsche koersen kunnen aangemerkt worden.

Stellen wij namelijk, dat gegeven zijn:

a. de afgevaren plaats, benevens de koers en de veranderde Breedte;
b. de afgevaren plaats, de koers en de veranderde Lengte;
c. de afgevaren plaats, de verheid en de veranderde Breedte;
d. de afgevaren plaats, de verheid en de veranderde Lengte;
e. de afgevaren en de bekomen plaats;

dan zullen wij, met behulp der bedoelde formules, de overige onbekenden kunnen bepalen.

a. Gegeven de afgevaren plaats, K en $\triangle b$; te vinden V en $\triangle l$.

De formules, die ons tot de oplossing ten dienste staan, zijn:

$$V = \frac{\triangle b}{\cos K}; \ \triangle l = (\mathfrak{B}\, b' - \mathfrak{B}\, b) \tang K.$$

Ten einde de oplossing, met behulp der streektafel, te bewerkstelligen, zoekt men in deze voor den gegeven koers de verheid, die overeenkomt met de gegeven veranderde Breedte, terwijl $\triangle l$ op de gewone wijze gevonden wordt. Dit vraagstuk vindt onder anderen zijne toepassing in het geval, dat een waarnemer uit eenig punt, waarvan alleen de Breedte bekend is, een ander punt, welks geographische ligging, geheel gegeven is, in zekere richting peilt, en dat hij daaruit de Lengte van

zijne standplaats, alsmede zijn afstand tot het gepeilde punt verlangt te kennen.

V o o r b e e l d. Het vuur van kaap F i n i s t e r r e wordt gepeild ZO, terwijl het schip zich bevindt op 43°20' N.Br. Men vraagt den afstand van het schip tot het genoemde vuur, benevens de Lengte van het schip. Beschouwen wij de peiling als een koers, dan is de bewerking aldus:

N.Br. schip = 43°20'	$\mathfrak{B}$ = 2890,52	W.L. Finist. = 9°15'36"
„ Finist. = 42°52'50"	„ = 2853,30	Verand. W. = 37'13"
Verand. = 0°27'10"	Versch. = 37,22	Bek. W.L. = 9°52'49"
	tang 4 str. = 1,00	
	$\triangle l$ = 37',22	

In 4 streken geeft 27',2 $\triangle b$ 38',6 verh.
= 9,65 mijl.

Komt

W. L. = 9°52'49". Afstand = 9,7 mijl.

b. Gegeven de afgevaren plaats, K en $\triangle l$; gevraagd V en $\triangle b$. De afgevaren Breedte bekend zijnde, zal men door de formule

$$(\mathfrak{B}\, b' - \mathfrak{B}\, b) = \frac{\triangle l}{\text{tang } K}$$

de bekomen Breedte, en dus ook $\triangle b$ kunnen vinden. Voor den gegeven koers, vindt men vervolgens, in de streektafel, de verheid, die met $\triangle b$ overeenkomt, of wel men berekent haar naar de formule:

$$V = \frac{\triangle b}{\cos K}.$$

Dit geval komt te pas, wanneer men een bekend punt peilt, en tevens de Lengte van zijne standplaats kent, om dan daaruit den afstand tot het gepeilde punt en de Breedte der waarnemingsplaats te bepalen.

V o o r b e e l d. Een waarnemer peilt het vuur van K i j k d u i n ONO, terwijl hij zich bevindt op 4°30' O.L. Hoe ver ligt de vuurtoren van den waarnemer, en op welke Breedte bevindt zich deze?

N.Br. Kijkduin = 52°57'5"	$\mathfrak{B}$ = 3758,93	O.L. Kijkduin = 4°43'36"
	Versch. = 5,63	O.L. schip = 4°30'
N.Br. schip = 52°53'42"	$\mathfrak{B}$ = 3753,30	Verand. W. = 0°13',6

$$\text{Verschil } \mathfrak{B} = \frac{\triangle l}{\text{tang } K} = \frac{13',6}{2,414} = 5,63.$$

In 6 streken geeft 3',4 $\triangle b$ 9' verh.
= 2¼ mijl.

Komt N.Br. = 52°53'42" op 2¼ mijl afstands.

Berekenen wij den afstand door de afwijking, dan is

13',6 $\triangle l$ op 52°55' Br. = 8',2 afw.
In 6 streken geeft 8',2 afw. 9' verh.
= 2¼ mijl,

als door de veranderde Breedte.

c. Gegeven de afgevaren plaats, V en $\triangle b$; te vinden K en $\triangle l$.

Dit geval komt in de praktijk niet voor. Mocht een dergelijk vraagstuk tot oefening gegeven zijn, dan vindt men de oplossing lichtelijk naar de formules

$$\triangle b = V \cos K$$

$$\cos K = \frac{\triangle b}{V} \text{ en } \triangle l = (VB\, b' - VB\, b) \text{ tang } K.$$

d. Gegeven de afgevaren plaats, V en $\triangle l$: te vinden K en $\triangle b$.

Ook dit geval komt in de praktijk niet voor. Wij laten het onderzoek, omtrent de oplossingswijze voor dit vraagstuk, aan den lezer over, en merken alleen op, dat er twee koersen kunnen zijn, die aan de gegevens beantwoorden, terwijl er twee bestaanbare waarden voor $\triangle b$ zullen gevonden worden.

e. Gegeven de afgevaren en de bekomen plaats; te bepalen K en V.

Dit geval komt dikwijls voor. Den koers vinden wij door de formule

$$\text{tang } K = \frac{\triangle l}{VB\, b' - VB\, b}$$

en de verheid, door

$$V = \frac{\triangle b}{\cos K}.$$

Maakt men van de streektafel gebruik, dan zoekt men het aantal streken, waarvan de tangens het naast met den gevonden overeenkomt, en geeft aan den koers de benaming, die met de benaming van $\triangle b$ en $\triangle l$ overeenstemt. Daarna neemt men uit dat gedeelte der tafel, dat door den koers is aangewezen, de verheid, die nevens de veranderde Breedte, in de kolom verh. staat opgegeven.

Verschillen de afgevaren en de bekomen Breedte weinig van elkander, dan is het beter, met behulp van de Middelbreedte, de veranderde Lengte tot afwijking te herleiden, en daarna den koers te berekenen, met behulp van de formule

$$\text{tang } K = \frac{\text{afw.}}{\triangle b}.$$

Het opzoeken van de verheid behoort in dit geval, in plaats van met $\triangle b$, met de afw. te geschieden. Zelden toch zal de tangens der tafel juist met den berekenden overeenstemmen, en in die gevallen oefent een kleine fout in den grootsten term, den minsten invloed op V uit.

Voorbeeld. Van een plaats *A* op 20°40′ N.Br. en 26°30′ O.L. gelegen, wordt gezeild naar een plaats *B*, op 30°20′ N.Br. en 30°50′ O.L. Men vraagt den gezeilden koers en de verheid.

Afgev. N.Br. = 20°40′	*W* = 1267,80	Afgev. O.L. = 26°30′
Bek. N.Br. = 30°20′		Bek. O.L. = 30°50′
Verand. N. = 9°40′	*W* = 1911,51	Verand. O. = 4°20′
= 580′	Versch. = 643,71	= 260′

$$\text{tang } K = \frac{260}{643,71} = 0,439$$

en de gevraagde koers is dus 2 streken, of NNO, dewijl de veranderde Breedte Noordelijk en de veranderde Lengte Oostelijk is.

Voor de verheid hebben wij:

in 2 streken geeft	277′,2 △ *b*	300′	verh.
en dus	554′,4 △ *b*	600′	verh.
	25′,6 „	27′,7	„
alzoo	580′ △ *b*	627′,7	verh.
		= 156,9	mijl.

De gevraagde koers en de verheid zijn mitsdien:

NNO 157 mijl.

Verlangt men den koers tot in achtste streken nauwkeurig, dan zal men slechts hebben acht te geven, als de tangens in de tafel niet juist wordt aangetroffen, tusschen welke streken hij valt. In het voorbeeld ligt *K* tusschen 2 en 2¼ streek, en komt het naast aan 2¼ streek; de koers wordt dus NNO¼O.

Verder geeft

in 2¼ str.	271′,2 △ *b*	300′	verh.
	542′,4 △ *b*	600′	verh.
	37′,6 „	41′,5	„
	580′,0 △ *b*	641′,5	verh.
		= 160,4	mijl,

en de meer nauwkeurige verheid in dien koers zal dus zijn:

½ (156,9 + 160,4) = 158,6 mijl.

Voorbeeld. Men vraagt den koers en de verheid tusschen Montevideo en de Z.Pt van King Eil. in de Bass-Straat, bij een Oostelijken koers.

King Eil.	Z.Br. = 40°10′ O.L. = 143°56′	Montevideo	Z.Br. = 34°53′18″ W.L. = 56°14′48″

Afgev. Z.Br. = 34°53′18″	Afgev. W.L. = 56°14′48″
Bek. Z.Br. = 40°10′	Bek. O.L. = 143°56′
Verand. Z. = 5°16′42″	Verand. O. = 200°10′48″
△ *b* = 316′,7	△ *l* = 12010′,8

Daar de veranderde Breedte, met betrekking tot de veranderde Lengte, zeer klein is, zoo zal de koers dicht bij het Oosten vallen. Berekenen wij het gevraagde eerst naar de formule, dan is

Middelbr. = 37°31′39″	log cos = 9,899306
$\triangle l$ = 12010′,8	log = 4,079572
	log afw. = 3,978878
	afw. = 9525,3
log afw. = 3,978878	log afw. = 3,978878
$\triangle b$ = 316′,7 C. log = 7,499352	
log tang K = 1,478230	
K = 88°5′44″	log sin = 9,999760
= O¼Z	log verh. = 3,978638
	verh. = 9520′,0
	= 2380 mijl.

De gevraagde koers en de verheid zijn dus

O¼Z 2380 mijl.

Met behulp van de tafels vindt men:

op 37°32′ Br.	10′	$\triangle l$ = 7′,926	afw.
dus	10000 „	= 7926,0	„
en	2000 „	= 1585,2	„
	10 „	= 7,9	„
	0,8 „	= 6,4	„
alzoo	12010,8 $\triangle l$	= 9525,5	afw.

$$\text{tang } K = \frac{9525,5}{316,7} = 30,077$$

K = 7¾ str. of O¼Z.

Ten einde de verheid te vinden, hebben wij:

in 7¾ str. geeft 299′,6 afw.	= 300′	verh.
dus 8988,0 „	= 9000	„
en 299,6 „	= 300	„
237,9 „	= 238	„
alzoo 9525,5 afw.	= 9538	verh.

$$\text{waaruit } V = \frac{9538}{4} = 2384,5 \text{ mijl,}$$

ongeveer als door de rechtstreeksche berekening.

Ziehier nog een paar voorbeelden tot opheldering.

Voorbeeld. Uit eenig punt A, wordt een plaats B, gelegen op 50°7′ N.Br. en 2°10′ O.L., ZOtO½O gepeild op 30 mijl afstands. Men zeilt vervolgens uit A, met een NW koers, tot op 60°37′ N.Br. Welke zijn de bekomen Lengte en de gezeilde verheid?

Afstand = verheid = 30 mijl; peiling = koers = ZOtO½O.
= 120′

In 5½ str. geeft 120′ verh. 56′,6 △ b

B N.Br. = 50° 7′	$\mathfrak{B}$ = 3485,38	B O.L. = 2°10′
Verand. N. = 56′,6		Verand. W. = 2°46′,8
A N.Br. = 51° 3′,6	$\mathfrak{B}$ = 3574,54	A W.L. = 0°36′,8
	Versch. = 89,16	
	tang 5½ str. = 1,87	
	△ l = 166′,8	

Afgev. N.Br. = 51° 3′,6	$\mathfrak{B}$ = 3574,54	Afgev. W.L. = 0°36′,8
Bek. N.Br. = 60°37′,0	$\mathfrak{B}$ = 4602,07	Verand. W. = 17° 7′,5
Verand. N. = 9°33′,4	Versch. = 1027,53	Bek. W. L. = 17°44′,3
	tang 4 str. = 1,00	
	△ l = 1027′,5	
	= 17°7′,5	

in 4 str. geeft 573′,4 △ b 811′ verh. = 203 mijl,

alzoo

Bek. W.L. = 17°44′,3. Verheid = 203 mijl.

Voorbeeld. Uit een punt A op 49°43′30″ N.Br. gelegen, peilt men de vuren van Lezard NNW. Van dit punt A zeilt men, tot dat kaap Finisterre OZ¾O gepeild wordt. Als men zich dan bevindt op 9°55′ W.L., vraagt men den gezeilden koers en de verheid.

Lezard N.Br. = 49°57′40″	$\mathfrak{B}$ = 3470,84	W.L. = 5°12′,1
A N.Br. = 49°43′30″	$\mathfrak{B}$ = 3448,87	Verand. O. = 9′,1
△ b = 14′,2	Versch. = 21,97	Bek. W.L. = 5° 3′,0
	tang K = 0,414	
	△ l = 9′,1	

Finisterre W.L. = 9°15′,6	Finisterre N.Br. = 42°52′50″ $\mathfrak{B}$ = 2853,33
Bek. „ = 9°55′,0	Versch. $\mathfrak{B}$ = 14,09
Verand. W. = 0°39′,4	$\mathfrak{B}$ Bek. plaats = 2867,42 = Vl 43°3′,2

$$\text{Versch. } \mathfrak{B} = \frac{\triangle l}{\text{tang } K'} = \frac{39,4}{2,795} = 14,09$$

A Afgev. N.Br. = 49°43′30″	$\mathfrak{B}$ = 3448,87	Afgev. W.L. = 5° 3′,0
Bek. N.Br. = 43° 3′,2	$\mathfrak{B}$ = 2867,42	Bek. W.L. = 9°55′,0
Verand. Z. = 6°40′,3	Versch. = 581,45	Verand. W. = 4°52′

$$\text{tang } K'' = \frac{292}{581,45} = 0,502 \text{ of } 2⅜ \text{ str.}$$

In 2⅜ str. geeft 400′,3 △ b 445′,2 verh. = 112 mijl.

Gezeilde koers en verheid zijn dus ZZW⅜W 112 mijl.

4°. Koppelkoersen.

Als er in zeker tijdsbestek verschillende koersen gestuurd zijn, dan

berekent men, gewoonlijk door het invullen van een zoogenaamd **bestektafeltje**, de Breedte en Lengte der bekomen plaats, zonder zich te bekommeren over die der standplaatsen, waar men van koers veranderd is. Men noemt deze bewerking het **koppelen** der koersen. Dit geschiedt als volgt:

Van elken koers worden voor de daarbij behoorende verheid, uitgedrukt in minuten, de veranderde Breedte en de afwijking in de streektafel opgezocht, en in de kolommen van het bestektafeltje onder N, Z, O en W ingevuld, naar gelang dat de verandering heeft plaats gehad. De algebraïsche som der veranderde Breedten, en die der afwijkingen, met het teeken der grootste, zullen dan de algemeene veranderde Breedte en afwijking zijn.

Om de bekomen Breedte en Lengte te vinden, gaat men, met de veranderde Breedte en de afwijking, eveneens te werk, als vroeger bij de schuinsche koersen is opgegeven.

Verlangt men bovendien den generalen koers en de verheid te kennen, dat is, den rechtstreekschen koers en de verheid tusschen de afgevaren en de bekomen plaats, dan deelt men de algemeene afwijking door de veranderde Breedte; het quotient is de natuurlijke tangens van den koers. Omtrent het opzoeken der verheid moet worden in acht genomen hetgeen op bladz. 81 is voorgeschreven.

In plaats van de aangewezen deeling te volbrengen, kan men den koershoek nog bepalen, door in de streektafel te zien, waar de aldaar voorkomende veranderde Breedte en afwijking, te gelijker tijd het naast met de berekende overeenstemmen. Deze handelwijs nogtans zal alleen dan eenig gemak geven, als men ten naastenbij weet, welke de algemeene koers is.

Zooals duidelijk is, kan de veranderde Lengte, als de tangens van den koershoek bepaald is, ook gevonden worden door de formule $\triangle l = (\mathcal{V}\!\mathcal{B}\, b' - \mathcal{V}\!\mathcal{B}\, b)$ tang K. De laatste manier is de gemakkelijkste.

Voorbeeld. Van 20°10′ N.Br. en 6°12′ O.L., wordt gezeild NtO½O 6 mijl, NOtO 4 mijl, ZO 3 mijl, ZW¼W 4 mijl, NWtN 4 mijl, ZW½W 6 mijl. Men vraagt de bekomen plaats, benevens den generalen koers en de verheid.

Koers.	Str.	Verh.	Veranderd.			
			N	Z	O	W
NtO½O	1½	24	23′,0	—	7′,0	—
NOtO	5	16	8′,9	—	13′,3	—
ZO	4	12	—	8′,5	8′,5	—
ZW¼W	4¼	16	—	10′,2	—	12′,4
NWtN	3	16	13′,3	—	—	8′,9
ZW½W	4½	24	—	15′,2	—	18′,6
			45′,2	33′,9	28′,8	39′,9
			33′,9			28′,8
			$\triangle b =$ 11′,3 N			afw. = 11′,1 W.

$\text{tang } K = \frac{11,1}{11,3} = 0,982 \qquad K = 4$ strεken

In 4 str. geeft 11',3 $\triangle b$ 16' verh. = 4 mijl.

Generale koers en verheid NW 4 mijl.

Afgev. N.Br. = 20°10'	$\mathfrak{B}$ = 1235,79	Afgev. O.L. = 6°12'
Verand. N. = 11',3		Verand. W. = 11',8
Bek. N.Br. = 20°21',3	$\mathfrak{B}$ = 1247,83	Bek. O.L. = 6° 0',2
	Versch. = 12,04	
	tang K = 0,982	
	$\triangle l$ = 11',8.	

De bovenstaande manier om de koersen te koppelen, draagt den naam van koppelen naar het plat. Men begaat hierbij de fout, van de Lengteverandering over den geheelen koers, evenredig te stellen aan den secans der Middelbreedte, terwijl streng genomen, de afwijking van koers tot koers tot veranderde Lengte had behooren herleid te worden. Een voorbeeld zal zulks toelichten.

Men stelle zich voor, dat een schip van een punt, gelegen op 60° Br., 100 mijl Oost, daarna 100 mijl Noord, vervolgens 100 mijl West en eindelijk 100 mijl Zuid stuurt; dan zullen klaarblijkelijk, bij de invulling van het bestektafeltje, de veranderingen elkander vernietigen, en de algebraïsche som van $\triangle b$, en die van de afw. gelijk nul worden, hetgeen aanduidt, dat volgens die berekening, het schip op hetzelfde punt is teruggekomen, van waar het is uitgegaan.

Gaat men echter na, wat in de werkelijkheid plaats grijpt, dan merkt men op, dat bij den eersten koers 100 mijl afwijking afgelegd worden op 60° Br., doch dat bij den derden koers, die hoeveelheid behaald wordt op 66°40', waarvan het gevolg moet zijn, dat het schip bij den laatstgenoemden koers meer in Lengte verandert dan bij den eersten. Het schip komt dus wel op denzelfden parallelcirkel, maar niet onder denzelfden meridiaan terug, en de berekening naar het tafeltje geeft alzoo een resultaat, dat met de werkelijkheid in strijd is.

De bedoelde fout is over het algemeen voor de praktijk van geen belang, omdat bij ieder etmaal de algemeene koers en de verheid worden opgemaakt, en omdat de afstanden, die in dat tijdvak worden afgelegd, betrekkelijk gering zijn. Het is dan ook om die reden, dat men aan boord, over het algemeen genomen, geen andere manier van werken volgt, uitgezonderd wanneer men zich op hooge Breedte bevindt.

Verlangt men een grootere nauwkeurigheid, dan koppelt men zoogenaamd naar het rond en bezigt daartoe het onderstaande tafeltje. De inrichting en het gebruik daarvan zullen door het volgende voorbeeld voldoende worden toegelicht.

Voorbeeld. Van 10°50′ W.L. en 47°50′ Z.Br. wordt gezeild NtO½O 6, ZtW 8, W 6, WNW 5, en ZWtW½W 7 mijl. Men vraagt de bekomen plaats, den generalen koers en de verheid.

Koers.	Str.	Verh.	Tang K.	Veranderd.		Breedte.	$\mathfrak{B}$	Versch. $\mathfrak{B}$	Veranderd	
				N	Z				O	W
						47°50′, Z	3276,61			
NtO½O	1½	24	0,303	23,0	—	47 27	3242,47	34,14	10,34	—
ZtW	1	32	0,199	—	31,4	47 58 ,4	3289,13	46,66	—	9,29
W	8	24	∾	—	—	47 58 ,4	3289,13	—	—	35,86
WNW	6	20	2,414	7,7	—	47 50 ,7	3277,66	11,47	—	27,69
ZWtW½W	5½	28	1,871	—	13,2	48 3 ,9	3297,36	19,70	—	36,86
									10,34	109,70
										10,34
									$\triangle l$ =	99,36 W.
										= 1°39′,4 „

Afgev. Z.Br. = 47°50′ $\mathfrak{B}$ = 3276,61 Afgev. W.L. = 10°50′
Bek. Z.Br. = 48° 3′,9 $\mathfrak{B}$ = 3297,36 Verand. W. = 1°39′,4
Verand. Z. = 0°13′,9 Versch. = 20,75 Bek. W.L. = 12°29′,4
Middelbr. = 47°57′

$$\text{tang } K = \frac{99,36}{20,75} = 4,79 \qquad K = 7 \text{ str.}$$

Op 47°57′ Middelbr. geeft 100′ $\triangle l$ 67′0 afw.
0,64 „ 0,4 „
dus 99′,36 $\triangle l$ = 66′,6 afw.

In 7 str. geeft 66′,6 afw. 68′ verh. = 17 mijl.

Komt volgens dien:

Generale koers en verheid WtZ 17 mijl.

Omtrent de invulling der laatste kolom, die van de veranderde Lengte namelijk, valt op te merken, dat bij koersen Oost en West, de verheid, met behulp van Tafel VII, tot $\triangle l$ wordt herleid, en aldus in de kolommen O of W wordt opgeteekend.

Bevindt men zich op hooge Breedte en vallen de koersen dicht bij het O of W, dan is, zooals wij weten, de herleiding van afw. tot $\triangle l$, door Middelbreedte, te verkiezen boven het gebruik der vergrootende Breedte. Voor dit geval kunnen wij alsdan de tafel inrichten, zooals bij het onderstaande voorbeeld is aangewezen.

Voorbeeld. Van 55° N.Br. en 12°14′ O.L. wordt gezeild OZO 16 mijl, OtZ 20½ mijl, O½N 5 mijl, Oost 6 mijl en O½Z 5 mijl. Men vraagt de bekomen plaats, benevens den generalen koers en de verheid.

Koers.	Str.	Verh.	Veranderd.				Breedte.	Middel-breedte.	Veranderd.	
			N	Z	O	W			O	W
							55° 0'N			
OZO	6	64	—	24,5	59,1	—	54 35 ,5	54°47',8	102,4	—
OtZ	7	83	—	16,2	81,4	—	54 19 ,3	54 27 ,4	140,0	—
O¼N	7¼	20	1,0	—	20.0	—	54 20 ,3	54 19 ,8	34,3	—
O	8	24	—	—	24,0	—	54 20 ,3	54 20 ,3	41,2	—
O¼Z	7¾	20	—	1,0	20,0	—	54 19 ,3	54 19 ,8	34,3	—
			1,0	41,7	204,6				352',2	
				1,0					$\Delta l = 5°52',2$ O	
				$\Delta b = 40',7$ Z						

$$\text{tang } K = \frac{204,5}{40,7} = 5,024\,;\ K = 7 \text{ streken.}$$

In 7 strekeu geeft 204,5 afw. 208,5 verh. = 52,1 mijl.

Komt volgens dien:

Generale koers en verheid OtZ 52,1 mijl.

Afgev. N.Br. =	55° 0'	Afgev. O.L. =	12°14'
Verand. Z. =	40',7	Verand. O. =	5°52',2
Bek. N.Br. =	54°19',3	Bek. O.L. =	18° 6',2

d. STROOMKAVELING.

Men noemt stroomkavelen, het in rekening brengen van den invloed, dien een stroom op den koers en de vaart van het schip uitoefent. Beweegt zich een schip, fig. 22, hetzij door den wind of door stoom voortgestuwd, in zekeren tijd in de richting van A naar B, en is het gedurende dien tijd onderworpen aan den invloed van een stroom, die, als hij alleen werkte, het schip in datzelfde tijdsverloop van A naar C gevoerd zou hebben, dan zal door de gelijktijdige werking dier krachten, het schip in den bedoelden tijd van A naar D gevoerd worden.

Men kan zich deze zaak ook in diervoege voorstellen, alsof het schip eerst van A naar B, alleen onder den invloed van de kracht, die het voortstuwt, en vervolgens alleen door de werking van den stroom van B naar D gevoerd was. Door deze voorstelling wordt het vraagstuk om de Breedte en Lengte van het punt D te bepalen, tot dat van een gewonen koppelkoers teruggebracht, vermits de stroom nu, als een koers aangemerkt, in de berekening kan worden opgenomen. Men is gewoon de richting van den stroom uit te drukken door de streek werwaarts hij loopt. Zoo spreekt men van een stroom om de NO, als men te kennen wil geven, dat hij van het ZW naar het NO loopt. Een stroom van om de NO beteekent daarentegen, dat hij ZWwaarts gericht is.

De snelheid van den stroom wordt uitgedrukt, door de verplaatsing

in mijlen, die hij een geheel vrij voorwerp in zekeren tijd doet ondergaan, b. v. 3 mijl per wacht, 6 mijl per etmaal, enz.

Het vraagstuk der stroomkaveling is slechts voor een benaderde oplossing vatbaar, dewijl zoowel de richting, als de snelheid der stroomen, nog weinig met zekerheid bekend zijn. Meer uit een theoretisch, dan wel uit een praktisch oogpunt, zullen wij dus de drie volgende gevallen beschouwen, die zich bij de stroomkaveling voordoen.

1°. Gegeven zijnde de afgevaren plaats, de koers en de vaart van een schip, benevens de snelheid en de richting van een stroom, wenscht men de bekomen plaats te bepalen.

2°. Gegeven zijnde de afgevaren en de bekomen plaats, benevens de koers en de vaart van een schip, verlangt men de kracht en de richting van den stroom te vinden.

3°. Gegeven zijnde de afgevaren plaats en de bestemmingsplaats, benevens de richting en de snelheid van den stroom, vraagt men, welke koers gestuurd en hoeveel mijlen gemaakt moeten worden, om de bestemmingsplaats langs den kortsten weg te bereiken, als men een gemiddelde vaart van zeker aantal mijlen per wacht denkt te loopen.

1°. Oplossing van het eerste geval.

Dewijl de stroom voortdurend op het schip werkt en de koers mitsdien gelijkmatig gewijzigd wordt, zal men den koers en den stroom naar het plat mogen koppelen.

Voorbeeld. Een schip stuurt van een plaats A, gelegen op 20°6' Z.Br. en 113°50' O.L., gedurende één wacht ZO½O 7 mijl. Indien er nu een stroom om de NO loopt van 12 mijl in het etmaal, vraagt men de bekomen plaats.

Snelheid van den stroom in 24ᵘ = 12 mijl.
dus in een wacht = 2 „

Koers.	Str.	Verh.	Veranderd.			
			N	Z	O	W
ZO½O	4½	28	—	17,8	21,6	—
NO (stroom)	4	8	5,7	—	5,7	—
			5,7	17,8	27,3	
				5,7		
				12',1		

Afgev. Z.Br. = 20° 6'
Verand. Z. = 12',1
Bek. Z.Br. = 20°18',1
Middelbr. = 20°12'.

Op 20°12' Middelbr
geeft 27,3 afw. 29,1 Δl

Afgev. O.L. = 113°50'
Verand. O. = 29',1
Bek. O.L. = 114°19',1.

Wanneer men in een stroom verschillende koersen gestuurd heeft, dan zoude men, om nauwkeurig te werk te gaan, elken koers met den stroom moeten koppelen. Werkt men, zooals in dit geval verkieslijk is, naar het rond, dan is het voldoende, als men den stroom plaatst tusschen de koersen, die er door aangedaan worden.

Voorbeeld. Van 15°20' O.L. en 40°15' Z.B. is achtereenvolgens gezeild in een etmaal: AM—NOtO 6, PV—ONO 5, EW—ONO½O 4, HW—NO 6, DW—Zuid 3 en VM—Z½O 2 mijl, terwijl in de twee eerste wachten de stroom heeft geloopen om de ZOtO 2 mijl, in de beide volgende om de NW 2 mijl, en in de beide laatste om de WNW 1½ mijl per wacht. Men vraagt de bekomen Breedte en Lengte, benevens den generalen koers en de verheid.

Koers.	Str.	Verh.	Tang K	Verand.		Breedte.	VB	Versch. VB	Veranderd.	
				N	Z				O	W
						40°15'Z	2642,31			
NOtO	5	24	1,497	13,3	—	40 1,7	2624,92	17,39	26,08	—
ZOtO (stroom)	5	16	1,497	—	8,9	40 10,6	2636,55	11,63	17,44	—
ONO	6	20	2,414	7,7	—	40 2,9	2626,48	9,47	22,86	—
ONO½O	6½	16	3,297	4,6	—	39 58,3	2620,47	6,01	19,81	—
NW (stroom)	4	16	1,000	11,3	—	39 47,0	2605,75	14,72	—	14,72
NO	4	24	1,000	17,0	—	39 30,0	2583,67	22,08	22,08	—
Z	0	12	0	—	12,0	39 42,0	2599,24	15,57	—	—
WNW (stroom)	6	12	2,414	4,6	—	39 37,4	2593,27	5,97	—	14,41
Z½O	½	8	0,098	—	8,0	39 45,4	2603,66	10,39	1,02	—
									109,29	29,13
									29,13	
								verand.	= 80',16	= 1°20',16.

Afgev. Z. Br. = 40°15'	VB = 2642,31	Afgev. O.L. = 15°20'
Bek. Z. Br. = 39°45',4	VB = 2603,66	Verand. O. = 1°20',16
Verand. N. = 29',6	Versch. = 38,65	Bek. O.L. = 16°40',16

$$\text{tang } K = \frac{80,16}{38,65} = 2,07 \qquad K = 5\tfrac{3}{4} \text{ streek.}$$

In 5¾ streek geeft 29',6 △ b 69' verheid = 17¼ mijl.

Komt volgens dien:

Generale koers en verheid NOtO¾O 17¼ mijl.

2°. Oplossing van het tweede geval.

De oplossing van dit geval komt te pas, als men de snelheid en de richting van den stroom wil leeren kennen. Men vergelijkt daartoe de werkelijke plaats van het schip met die, welke volgens de koers- en verheidsrekening wordt verkregen. Bestaat er tusschen de beide plaatsen eenig verschil, dan zal, als die misgissing alleen door den stroom

veroorzaakt is, zooals wij in dit geval vooronderstellen, uit het bedoelde verschil, de richting en de snelheid van den stroom zijn af te leiden. Het zij hier echter opgemerkt, dat de misgissing ook nog door andere oorzaken kan zijn te weeg gebracht, zoodat men behoedzaam moet wezen in het maken van gevolgtrekkingen, omtrent het bestaan, de richting en de snelheid van den stroom, afgeleid uit misgissingen in het bestek.

Voorbeeld. De gegist bekomen N.Br. te 12^u sedert den vorigen middag zij volgens het bestek 53°20',2 en de O.L. 32°34',9, terwijl de ware N.Br. 52°46'24" en de ware O.L. 31°34' is. Men vraagt de kracht en de richting van den stroom in het afgeloopen etmaal.

Geg. bek. N.Br. = 53°20',2	$\mathfrak{B}$ = 3797,45	Geg O.L. = 32°34',9
Ware N.Br. = 52°46',4	$\mathfrak{B}$ = 3741,21	Ware O.L. = 31°34',0
Verand. Z. = 33',8	Verschil = 56,24	Verand. W. = 1° 0',9

$$\text{tang } K = \frac{60,9}{56,24} = 1,08; \text{ alzoo } K = 4\tfrac{1}{4} \text{ streek.}$$

In 4¼ streek geeft 33',8 △ *b* 50',3 verh. = 12,6 mijl,

en dus

Kracht en richting van den stroom = ZW¼W 12,6 mijl.

Ter voorkoming van vergissing in de benaming van den stroom, is het zaak, dat men nagaat, waar het schip werkelijk is gekomen, in verband met de plaats, waar men meent te zijn. Zoo valt in het bovenstaande voorbeeld de stroom tusschen het Z en W, omdat men zich Zuidelijker en Westelijker bevindt dan men meende, en dus de stroom het schip om de Z en W heeft gezet.

3°. Oplossing van het derde geval.

Wanneer een schip, terwijl het is blootgesteld aan de werking van een stroom, zekere bestemmingsplaats moet bereiken, dan kan de stroom rechtstreeks mede- of tegenwerken, als hij namelijk van de plaats van het schip in de richting naar of van de bestemmingsplaats loopt. Klaarblijkelijk zal onder deze omstandigheid de koers, dien het schip te nemen heeft, geen wijziging behoeven te ondergaan, doch zal in het eene geval de bestemmingsplaats spoediger, in het andere geval langzamer bereikt worden, dan zou plaats gehad hebben, als het schip buiten den invloed van den stroom gebleven was.

Maakt echter de richting van den stroom zekeren hoek met de streek, die het schip voorligt, dan zal het schip een zijdelingsche verplaatsing naar stuur- of bakboord ondergaan. Wil nu het schip de bestemmingsplaats langs den kortsten weg bereiken, dan moet het niet rechtstreeks op de bestemmingsplaats aan, maar zoo hoog boven strooms sturen, dat

de zijdelingsche afdrift, door den hoogeren koers wordt opgewogen. Zij ter verduidelijking A, fig. 23, de plaats van het schip, B de bestemmingsplaats en AC de richting en de snelheid van den stroom in de wacht. Trekken wij de lijn BF tegengesteld, doch evenwijdig en gelijk aan AC, en door F de lijn FEE' evenwijdig aan AB, dan stelt de loodrechte afstand der lijnen AB en EF de verplaatsing voor, die de stroom het schip bakboord uit in de wacht doet ondergaan, als het de richting AB voorligt.

Beschrijven wij verder uit A met een straal, gelijk aan de gemiddelde vaart van het schip per wacht, een cirkelboog, die de lijn EF in een punt E snijdt, dan zal, wanneer wij AE trekken, AE de verlangde richting van het schip, en hoek NAE de te sturen koershoek zijn. Om dit aan te toonen, verlengen wij de lijn AE tot in G, en trekken de lijn ED evenwijdig aan AC. Stuurt het schip in de richting van AE, dan zal men, dewijl de stroom het schip in de richting van $ED = AC$ verplaatst, na verloop van één wacht, niet in E, maar in D zijn gekomen, en ofschoon het schip volgens AE voorlag, zal het steeds op de lijn AD zijn gebleven. Verlengen wij BF tot zij AG in G snijdt, dan zal AG de maat zijn van het aantal mijlen, dat het schip moet afleggen om in B te komen.

Voorbeeld. Men vraagt, welken koers een schip zal hebben te sturen en hoeveel mijlen daarbij af te leggen, om van een plaats A naar een plaats B te komen, die 10 mijl NNO van A ligt, als er een stroom loopt om de WZW van 2 mijl per wacht en de gemiddelde vaart van het schip op 4 mijl per wacht gesteld wordt.

Bepalen wij eerst den hoek NAE of den koershoek.

Hiertoe hebben wij in driehoek CAD:

$$CA : CD = \text{sin hoek } CDA : \text{sin hoek } CAD.$$

Volgens de opgaaf is

$$CA = 2 \text{ mijl}$$
$$CD = 4 \text{ ,,}$$
$$\text{hoek } CAD = CAN + NAB = 10 + 2 = 12 \text{ strekken,}$$

en dus

$$2 : 4 = \text{sin hoek } CDA : \text{sin } 12 \text{ str.,}$$

waaruit

$$\text{hoek } CDA = DAE = 1\tfrac{3}{4} \text{ streek}$$
$$\text{voorts is } NAD = 2 \text{ strekken}$$
$$\text{en dus } NAE = 3\tfrac{3}{4} \text{ streek.}$$

De te sturen koers is alzoo NO¼N.

Om de verheid te bepalen, hebben wij in driehoek ABG:

$$AB : AG = \text{sin hoek } G : \text{sin hoek } B.$$

Nu is

$$\text{hoek } B = \text{hoek } CAD = 12 \text{ streken}$$

$$\text{hoek } G = \text{hoek } DEA = \text{hoek } DCA = 16 \text{ str.} - (CAN + NAE)$$
$$= 16 \text{ str.} - (10 + 3\tfrac{3}{4}) \text{ str.} = 2\tfrac{1}{4} \text{ streek},$$

en dus, na substitutie van de gevonden waarden,

$$10 : AG = \sin 2\tfrac{1}{4} \text{ str.} : \sin 12 \text{ str.}$$

waaruit

$$AG = 17{,}4 \text{ mijl.}$$

Het schip zal bijgevolg 17,4 mijl om de NO¼N moeten afleggen, om onder de gegeven omstandigheden, langs den kortsten weg, het punt B te kunnen bereiken.

De cirkelboog, dien men uit A met de vermoedelijke vaart van het schip beschrijft, snijdt de lijn EF nog in een ander punt, namelijk in E'. Trekken wij AE', dan stelt deze lijn een tweeden koers voor. Indien men dezen volgt, dan blijft men ook onder den invloed van den gestelden stroom in de lijn AB of haar verlengde. Volgens figuur 23, komt men alsdan na een wacht in D', heeft den afstand AD' afgelegd, doch verwijdert zich blijkbaar van B.

In fig. 24 is het geval voorgesteld, waarin het schip volgens beide richtingen AE en AE' in B komt. Ligt het schip de eerstgenoemde streek voor, dan komt het na één wacht in D; volgens de laatstgenoemde daarentegen in D', terwijl AG en AG' de te zeilen verheden in beide koersen voorstellen.

Het is duidelijk, dat de tweede oplossing veel ongunstiger is dan de eerste, waardoor de koers AE wordt aangegeven. Voor stoomschepen dus, die het in hunne macht hebben, een richting naar welgevallen te nemen, komt alleen de eerste in aanmerking en biedt de tweede niets belangrijks aan; doch voor zeilschepen zal, ingeval de wind niet toelaat de richting AG te volgen, AG' of de tweede oplossing de eenig bruikbare zijn. Dit leidt ons nog tot een opmerking.

Wij hebben de punten E en E' gevonden, door uit A een cirkelboog te beschrijven, hetgeen alleen dan juist is, wanneer de vaart van het schip in alle richtingen dezelfde blijft. Streng genomen, zou men om het punt A een kromme lijn moeten beschrijven, zoodanig, dat alle voerstralen uit A naar den omtrek getrokken, de wegen voorstellen, die het schip per wacht in die richtingen kan afleggen. Zijn b. v. IK, fig. 25, de richting van den wind, AN de vaart van het schip voor den wind, AO en AP de snelheden halverwind enz. Zijn verder AL en AM de richtingen, volgens welke het schip bij den wind ligt, die alzoo een hoek maken met IK van ongeveer 6 streken, dan zal de bedoelde kromme lijn, die lijnen moeten aanraken. Hare gedaante zal ongeveer

zijn, zooals zij in de figuur is voorgesteld, doch voor verschillende schepen en naar gelang van de kracht van den wind eenigszins gewijzigd.

Beschrijft men nu, om het punt A, een soortgelijke kromme lijn, dan zullen hare doorsneden met de lijn EF der vorige figuur, de punten E en E' aanwijzen, werwaarts het schip zich moet richten. Men zal inzien, dat er soms vier dergelijke punten kunnen bestaan, doch ook, dat er soms geen enkel punt van doorsnede gevonden kan worden. Dit laatste heeft ook plaats in de vorige figuur, als de vaart van het schip of AE, kleiner is dan de afstand der lijnen BA en EF of de zijdelingsche afdrift, en het zal in die gevallen onmogelijk zijn de plaats B te bereiken.

Het is niet noodzakelijk, dat men de geheele kromme lijn teekent, maar alleen dat deel, hetwelk naar den kant van EF gekeerd is, en het zal dus voldoende zijn, naar die zijde, uit A, eenige voerstralen te trekken en door hunne uiteinden uit de hand een boog te teekenen, die de snijpunten E en E' met voldoende nauwkeurigheid zal aanwijzen.

VI. DE INRICHTING EN HET GEBRUIK DER ZEEKAARTEN.

De zeeman behoort voorzien te zijn van afbeeldingen van de zeeën, waarop hij zich bevindt, om zijne tijdelijke standplaats zonder moeite in verband te kunnen brengen met de plaats zijner bestemming; om als met een oogopslag te kunnen overzien de beletselen, die hij op zijn weg zal kunnen ontmoeten, teneinde naar aanleiding daarvan dien weg te kunnen kiezen, die hem spoedig en veilig tot zijn doel leidt.

Is het voor den zeeman van gewicht, dat hij zoo menigvuldig mogelijk zijne tijdelijke standplaats bepaalt, zoo behoort hij, bij iedere bepaling daarvan, op nieuw zich te vergewissen aangaande de te volgen koerslijn, en hij moet alzoo deze lijn op zijne kaart kunnen aanteekenen of daaruit overnemen. Nu is het duidelijk, dat tot het trekken van die lijn op de kaart, geen lastige constructiën mogen geëischt worden. De omstandigheden toch, waarin men zich zoo vaak bevindt, maken het wenschelijk, om niet te zeggen noodzakelijk, dat zulks met weinig moeite zal kunnen geschieden, hetgeen alleen dan het geval zal zijn, wanneer de koerslijn, op de kaart, door een rechte lijn wordt voorgesteld.

Dewijl echter de meridianen en parallellen ook als koerslijnen kunnen aangemerkt worden, zoo zullen de genoemde lijnen als rechte en onderling evenwijdige lijnen in de zeekaart moeten getrokken worden, waardoor dan tevens voldaan wordt aan de bepaling, dat de koerslijn de meridianen onder een standvastigen hoek moet snijden. Nu ontstaat evenwel de vraag: op welke wijze kan een kaart, waarvan het net uit

rechte en onderling evenwijdige lijnen gevormd wordt, een bruikbare voorstelling van de aardoppervlakte geven? Geheel in strijd met de werkelijkheid toch, behouden de meridianen in de kaart hunnen afstand, terwijl zij op aarde aan de pool in één punt samenkomen, en het kan wel niet anders, of een geheel misvormde voorstelling van het aardoppervlak moet daarvan het gevolg zijn. Ziehier op welke wijze men getracht heeft dat bezwaar op te heffen.

a. PLATTE KAARTEN.

Verbeelden wij ons het oppervlak van de aarde door eenige meridianen in strooken verdeeld, en om de aarde een cilinder beschreven, die haar oppervlak volgens den equator aanraakt. De meridiaan-vlakken, voorbij het aardoppervlak voortgezet zijnde, zullen den cilinder snijden volgens de lijnen $A'A''$, $B'B''$ enz., fig. 26, die in de punten A, B, enz. raaklijnen aan de meridianen zullen zijn. Nu zal uit de beschouwing der figuur lichtelijk zijn op te maken, dat de ruit van het aardoppervlak, begrepen tusschen de meridianen A en B, den equator en de parallel DD', zonder merkbare fout op den cilinder zal mogen overgebracht worden, indien namelijk de parallel DD' niet op grooten afstand van den equator ligt. Ditzelfde zal ook het geval wezen met de ruit, die begrepen is tusschen den equator en de parallel EE'; en wij zullen dus van de streken in de nabijheid des equators, zonder groote onnauwkeurigheid een zeekaart kunnen vervaardigen, door aan de graden der parallellen de grootte te geven, die voor de equatorgraden wordt aangenomen en ook de Breedtegraden der kaart daaraan gelijk te nemen, even als op aarde werkelijk het geval is.

Om te onderzoeken hoe groot de fout is, die hierdoor begaan wordt, als de parallellen DD' en EE' op 8° Breedte liggen, stellen wij dat de grootte van den equatorgraad in de kaart 1 cM. zij, dan is, zooals wij weten,

de grootte van 1° op de parallel van 8° Br. = 1 cM. cos 8°	= 0,99 cM.
In de kaart is daarvoor genomen	= 1,00 „
De gevraagde fout dus	= 0,01 cM.

of ongeveer 0,1 mM., welke fout niet noemenswaard is.

Op een hoogere Breedte echter, wordt het bedoelde verschil al spoedig te groot, ten gevolge van het snel afnemen der cosinussen, naarmate de bogen tot 90° naderen. Was namelijk de equatorgraad 1 cM., dan zou men b. v. op 40° en 50° Breedte hebben:

afstand der meridianen op 40° Br. = 1 cM. cos 40°	= 0,766 cM.
„ „ „ „ 50° „ = 1 „ cos 50°	= 0,643 „
verschil	= 0,123 cM.

welk verschil te groot is, om verwaarloosd te mogen worden.

Om hieraan tegemoet te komen, slaat men een middelweg in, en neemt de grootte van den Lengtegraad op de kaart gelijk aan de grootte, die hij behoorde te hebben op de middelste parallel der kaart, terwijl de Breedtegraden de grootte van den graad des equators behouden. Ofschoon nu door deze inrichting wel iets gewonnen wordt, zoo is daarmede nogtans de bestaande zwarigheid niet geheel uit den weg geruimd, dewijl men, om de nauwkeurigheid binnen zekere perken te houden, naarmate de Breedte toeneemt, aan de kaart een geringere uitgebreidheid in Breedte moet geven. Het onderstaande voorbeeld zal een en ander duidelijk maken.

Gesteld men wil het net maken van een dergelijke kaart tusschen 40° en 50° Breedte; dan geve men aan den Lengtegraad de grootte van den graad der parallel op 45° Breedte en laat de Breedtegraden hunne grootte behouden. Is de laatstgenoemde 1 cM., dan wordt

de afstand der meridianen = 1 cM. cos 45° = 0,707 cM.

Trekt men op dien afstand de meridianen evenwijdig aan elkander, dan zal, als de parallellen, op 1 cM. afstands van elkander, de meridianen rechthoekig snijden, deze kaart een benaderde voorstelling zijn van het net op de oppervlakte der aarde, tusschen de parallellen van 40° en 50° Breedte.

Vergelijkt men thans de aangenomen waarde met de werkelijke, dan is

	de juiste waarde	de aangenomen waarde	verschil	
op 40°	0,766	0,707	0,59	te klein
„ 45°	0,707	0,707	0	
„ 50°	0,643	0,707	0.64	te groot

en men bespeurt, dat de gemiddelde fout = 0,61 cM., ofschoon gering, nogtans merkbaar grooter is, dan die bij de eerstgenoemde kaart. Wilde men bij deze laatste geen grootere fout dan 0,01 cM. maken, dan zoude de kaart zich ter wederzijde van de middelparallel niet verder mogen uitstrekken dan tot

45°48′37″ en 44°11′23″.

Plaatst men de punten van het aardoppervlak naar hunne Breedten en Lengten in de laatstgenoemde kaart, dan zullen de punten, boven de middelparallel gelegen, eenigszins van elkander worden verwijderd; de punten, die onder de bedoelde parallel komen, zullen daarentegen naar elkander gebracht worden; en alleen de punten, die op 45° Breedte liggen, zullen hunnen juisten afstand hebben.

Deze verplaatsing, hoe gering ook, geschiedt slechts in één richting, namelijk in die van Oost en West, en veroorzaakt het voorname bezwaar aan de platte kaarten eigen, dat noch richting, noch afstand, streng genomen, voor meting vatbaar zijn.

Het voorgaande in korte woorden samenvattende, komt men tot het besluit, dat een platte kaart zich in Breedte niet verder mag uitstrekken dan tot daar, waar de genoemde misvorming nadeelig zou worden, d. i. zij mag bij een willekeurige uitgebreidheid in Lengte, slechts weinige graden Breedte bevatten en wel des te minder, naarmate de Breedte grooter is. Als plan of schets van een reede, enz. is de platte kaart dus zeer goed te gebruiken en zelfs bepaald aan te raden.

b. WASSENDE KAARTEN.

Door een wassende kaart verstaat men een zoodanige, waarvan de meridianen en parallellen rechte en onderling evenwijdige lijnen zijn, doch waarbij de afstand der parallellen voor gelijke Breedteverschillen, in een bepaalde verhouding toeneemt, naarmate zij zich op grooteren afstand van den equator bevinden.

Door deze inrichting wordt, zooals wij zien zullen, de koerslijn in de kaart een rechte lijn, en bovendien blijft de betrekkelijke ligging van de punten der aardoppervlakte zoodanig bewaard, dat afstanden en richtingen in de kaart met voldoende nauwkeurigheid kunnen worden afgepast. Ziehier, waarop de samenstelling der wassende kaarten berust.

Laat A en B, fig. 21, twee punten eener loxodroom zijn, en gegeven door hunne Breedten en Lengten b, b', l en l', dan is de vergelijking van die loxodroom:

$$l' - l = \text{tang}\, K\,(\mathfrak{V}b' - \mathfrak{V}b).$$

Zij nu, fig. 27, EE' de equator der kaart, dan kunnen wij daarop stukken $Gm = l$ en $Gn = l'$ nemen, welke wij als de abscissen der genoemde punten kunnen aanmerken. Richten wij voorts in de punten m en n, de ordinaten $ma = \mathfrak{V}b$ en $nb = \mathfrak{V}b'$ op, dan zullen a en b de punten A en B in de kaart voorstellen, terwijl klaarblijkelijk

$$l' - l = \text{tang}\, K'\,(\mathfrak{V}b' - \mathfrak{V}b)$$

de vergelijking is van de rechte lijn, die door de punten a en b gaat, en een hoek K' met de meridianen der kaart maakt. Beschouwt men nu de vergelijking van de loxodroom in verband met de laatstgenoemde, dan moet $K = K'$ zijn, waaruit volgt, dat de loxodroom in de wassende kaart in een rechte lijn overgaat, die de meridianen onder denzelfden hoek snijdt, als de loxodroom de meridianen op aarde.

Brengen wij voorts al de punten der aardoppervlakte, volgens hunne Lengten en vergrootende Breedten, in de kaart, dan zullen wij een projectie der aardoppervlakte verkrijgen, waarin de richting der punten onderling nagenoeg overeenkomt met die, welke op aarde door het kompas zou worden aangegeven.

Laat ons thans nagaan, of ook de afstanden op de kaart voor afpassing vatbaar zijn.

Denken wij ons daartoe de genoemde punten A en B, fig. 21, zeer dicht bij elkander gelegen en door A een parallel, die den meridiaan van B in een punt C snijdt, dan zal, wanneer wij door a, fig. 27, de parallel ac trekken, de driehoek abc, waarvan de rechthoekszijden $(\mathfrak{W}\,b' - \mathfrak{W}\,b)$ en $\Delta\, l$ zijn, gelijkvormig zijn met den kleineren driehoek ABC, waarvan de hypotenusa ΔV en de opstaande rechthoekszijde $\Delta\, b$ is.

Vergrooten wij de zijden van den laatstgenoemden driehoek in de verhouding van $\Delta\, b : (\mathfrak{W}\,b' - \mathfrak{W}\,b)$, dan worden de beide driehoeken aan elkander gelijk, en hieruit volgt, dat bijaldien $\Delta\, b$ of $(\mathfrak{W}\,b' - \mathfrak{W}\,b)$ p mijlen bevat, $\frac{1}{p}\,(\mathfrak{W}\,b' - \mathfrak{W}\,b)$ de juiste maat zal zijn om ΔV of ab te meten.

De afstanden in de kaart zijn alzoo voor nauwkeurige meting vatbaar, mits men daartoe als schaal bezige dat gedeelte van den opstaanden rand der kaart, hetwelk begrepen is tusschen de parallellen, die den te meten afstand begrenzen. Deze opmerking zal ook van toepassing zijn, als men den omvang van de landen, die op de kaart zijn afgebeeld, onderling wil vergelijken. Door de inrichting der kaart toch, zullen de landen, naarmate zij dichter bij de polen liggen, meer en meer in alle richtingen zijn uitgerekt en dus grooter schijnen, en men zal eerst dan uit de beschouwing gevolgtrekkingen kunnen maken, als men iedere ruit der kaart naar hare bijzondere schaal beoordeelt.

De wassende kaart zal zich slechts tot zekere Breedte kunnen uitstrekken, dewijl $\mathfrak{W}\,90^\circ = \infty$ is, en men zal dus geen kaart kunnen vervaardigen, die tot de pool is voortgezet. Doch, dewijl in de praktijk het geval zelden, om niet te zeggen nimmer, voorkomt, dat men zulke hooge Breedte bereikt, is het bezwaar, dat daaruit zou kunnen voortvloeien, voor de zeevaart geheel van belang ontbloot.

Het beginsel, waarop de samenstelling der wassende kaarten berust, kan nog op de volgende, meer elementaire wijze verklaard worden. Denken wij ons den aardbol gesneden door een aantal platte vlakken, die een afstand a, b. v. een minuut, van elkander verwijderd zijn en evenwijdig aan den equator loopen, dan zullen wij de bolvormige schijven, die hierdoor gevormd worden, als cilinders mogen aanmerken, welke allen dezelfde hoogte a hebben, doch waarvan de omtrekken der opvolgende grondvlakken afnemen in reden van de cosinussen der Breedten, waarop zij liggen. Ontwikkelen wij de oppervlakken van deze cilinders, begrepen tusschen de meridianen PQ en PE, fig. 28, op een plat vlak, dan verkrijgen wij de rechthoekjes $EQlb$, bi, ch, df, enz., welker lengten, volgens de voornoemde wet, gaandeweg zullen afnemen, zoodat de

gebroken lijn *fghoiklQ* een gedeelte van den meridiaan PQ voorstelt, als wij de linker uiteinden der rechthoekjes op een rechte lijn Ee plaatsen.

Ten einde de meridianen PE en PQ in de kaart als rechte en evenwijdige lijnen te kunnen teekenen, laten wij het rechthoekje El, dat op den equator rust, zijne grootte behouden, terwijl wij het overbrengen in $E'l'$. Vergrooten wij vervolgens de basis $b'k'$ van het onmiddellijk daarop volgende rechthoekje, tot dat k' in l' komt, dan geschiedt zulks door die basis te vermenigvuldigen met den secans van 0°1′ Breedte, en klaarblijkelijk zal de opstaande zijde $b'c'$ in dezelfde reden moeten vergroot worden, opdat de rechthoek gelijkvormig blijve aan zijne oorspronkelijke gedaante. Het punt c' komt alzoo in c'', en $b'c' = a$ gaat over in $b'c'' = a \sec 1'$. Op gelijke wijze gaat $c'd' = a$ over in $c''d'' = a \sec 2'$, als wij o' in i'' willen brengen, en zoo voortgaande zullen wij aan alle rechthoekjes een lengte $E'Q'$ kunnen geven, mits hunne opstaande zijden veranderen in $a \sec 3'$, $a \sec 4'$, enz.

Nemen wij de som van de stukjes $Q'l'$, $l'i''$, $i''h''$, dan verkrijgen wij voor den afstand in de kaart van den equator tot de parallel van 0°3′ Breedte of $Q'h''$,

$$\begin{aligned} Q'h'' &= a + \sec 1' + a \sec 2' \\ &= a (\sec 0^0 + \sec 1' + \sec 2'), \end{aligned}$$

en in het algemeen voor den afstand in de kaart van den equator tot de parallel, die op een Breedte φ ligt:

$$\text{afstand} = a (\sec 0^0 + \sec 1' + \sec 2' \;.\;.\;.\; + \sec (\varphi - 1')),$$

hetgeen wij vroeger als een uitdrukking voor de vergrootende Breedte van φ hebben leeren kennen.

De vergrooting, die de stukjes $Q'l'$, $l'i''$, $i''h''$, enz. ondergaan, verklaart de benaming van vergrootende Breedte, die men aan den bedoelden afstand heeft gegeven.

Zooals men zal opmerken, blijft de gelijkvormigheid van elk rechthoekje der kaart met de overeenkomstige ruit op aarde bewaard; doch de verhouding, die oorspronkelijk daartusschen bestond, verandert met de Breedte, waarop de ruit ligt. Deze verhouding echter wordt in de opstaande zijde van elk rechthoekje der kaart aangewezen. Is b. v. $Q'l'$ in de kaart een minuut en alzoo gelijk aan $\frac{1}{4}$ mijl, dan stelt ook $i''h''$ een minuut of $\frac{1}{4}$ mijl voor, en voor de afstanden der plaatsen in den rechthoek $E'l'$ gelegen, zullen wij $Q'l'$, voor die in $c''h''$ daarentegen, $i''h''$ als maat hebben te nemen.

Neemt men, zooals boven is geschied, voor a een minuut, dan zal de vergrootende Breedte van φ, in minuten uitgedrukt, kunnen gevonden worden door de uitdrukking:

$$\sec 0^0 + \sec 1' + \sec 2' + \;.\;.\;.\; \sec (\varphi - 1'),$$

en men zou, door achtereenvolgende optelling der secanten, de tafel der vergrootende Breedte kunnen berekenen. Stellen wij b. v. dat men aldus gevonden had:

$$VB\,40^\circ = 2622{,}69,$$

dan zal voor 40°1′, 40°2′ enz. de berekening aldus kunnen voortgezet worden:

	VB 40° = 2622,69	
log sec 40°1′ = 0,115852	getal = 1,305	
	VB 40°1′ = 2623,995.	De tafel geeft 2624,00
log sec 40°2′ = 0,115958	getal = 1,306	
	VB 40°2′ = 2625,301	„ „ „ 2625,30
log sec 40°3′ = 0,116064	getal = 1,306	
	VB 40°3′ = 2626,607	„ „ „ 2626,61

Om het net eener wassende kaart te vervaardigen, b. v. tusschen 40° en 45° Breedte, bij een uitgestrektheid van 8° Lengte, trekt men eerst een rechte lijn AG, fig. 29, en zet daarop acht gelijke stukjes Aa, ab, bc, enz. af, ter grootte van de maat, die men voor den Lengtegraad heeft aangenomen. Zij de laatstgenoemde 1 centimeter.

De afstand der parallellen van 40° en 45° moet, volgens het geleerde, gelijk genomen worden aan het verschil der vergrootende Breedten. Om dus de hoogte van den opstaanden rand te bepalen, hebben wij, volgens Tafel IX,

$$\begin{aligned} VB\,45^\circ &= 3029{,}94 \\ VB\,40^\circ &= 2622{,}69 \\ \text{verschil} &= 407{,}25. \end{aligned}$$

Nemen wij nu in aanmerking, dat deze getallen equatorminuten zijn, waarvan er 60 in 1° en dus in ons geval 60 in 1 cM. begrepen zijn, dan zal

$$AF = \frac{407{,}25}{60} = 6{,}787 \text{ cM.}$$

de gevraagde hoogte zijn.

Om de punten B, C, D, enz. te bepalen, heeft men:

VB 40° = 2622,7	
	78,9
„ 41° = 2701,6	
	80,1
„ 42° = 2781,7	
	81,4
„ 43° = 2863,1	
	82,6
„ 44° = 2945,7	

en dus:

$$AB = \frac{78{,}9}{60} = 1{,}31 \text{ cM.}$$

$$BC = \frac{80{,}1}{60} = 1{,}34 \text{ „}$$

$$CD = \frac{81{,}4}{60} = 1{,}36 \text{ „}$$

$$DE = \frac{82{,}6}{60} = 1{,}38 \text{ „}$$

Verlangt men deze graden nader te verdeelen, dan volgt men voor de tusschenpunten denzelfden weg. Dit is vooral dan noodzakelijk, als men bij kaarten van zeer groot bestek, of op hooge Breedte, groote nauwkeurigheid verlangt. Richt men vervolgens in de deelpunten *a, b, c,* enz. loodlijnen op, en trekt men door de punten *B, C, D,* enz. lijnen, evenwijdig aan *AG*, dan zal daarmede het net der kaart gereed zijn.

De zeekaarten worden meestal zoodanig geteekend, dat, als men die recht voor zich neemt, het Noorden boven, en dus het Oosten rechts komt te liggen.

De Breedtegraden worden afgezet op de buitenste meridianen *AF* en *GO*, en de Lengtegraden langs de parallellen *AG* en *FO*, met opgave van den eersten meridiaan, waarvan de Lengte gerekend is. In verschillende punten der kaart, worden vervolgens kompasstreken geteekend, zoodanig dat men die gemakkelijk kan onderscheiden.

Wij hebben hierboven de graden des equators in een bepaalde lengtemaat uitgedrukt. Het is bovendien noodig, dat men bekend zij met de betrekkelijke grootte der verschillende in gebruik zijnde lengtematen, teneinde zich door de kaart, althans eenigszins, een denkbeeld te kunnen vormen van de wezenlijke grootte der deelen van de aardoppervlakte.

De omtrek der aarde wordt, zooals bekend is, verdeeld in 40000000 Ned. ellen of meters.

Een graad van den equator bevat dus

$$\frac{40000000}{360} = 111111,1 \text{ meter,}$$

of naar BESSEL = 111309,13 „

1 Ned. mijl of kilometer		= 1000,00	meter	
1 Duitsche geographische mijl van 15 op 1°		= 7407,41	„	of 7420,44
1 Fransche zeemijl (Lieue marine) van 20 op 1°	}	= 5555,56	„	
1 Engelsche „ (League) „ 20 „ 1°	}			
1 Fransche „ (Mille marin) „ 60 „ 1°	}	= 1851,85	„	
1 Engelsche „ (Mile) „ 60 „ 1°	}			

Wanneer in het vervolg in dit werk over mijlen gesproken wordt, worden daarmede altijd Duitsche geographische bedoeld.

C. KAARTPASSEN.

De vraagstukken der zeilaadjes kunnen ook door afpassing in de wassende kaart worden opgelost. Ofschoon daardoor nimmer de nauwkeurigheid bereikt kan worden, die door berekening verkregen wordt, zoo is toch het afpassen dikwijls zeer nuttig, tot het verkrijgen van een aanschouwelijke voorstelling der zaak, en ook ter vermijding van omslachtige berekeningen. Zijn de kaarten van zeer groot bestek, dat wil

zeggen, is de schaal, waarnaar de kaart vervaardigd is, zeer groot, dan bereikt men door het kaartpassen een hoogen graad van juistheid.

Bij het kaartpassen komen hoofdzakelijk vier gevallen voor, die wij achtereenvolgens zullen behandelen.

1°. Een punt, dat in ligging gegeven is, op de kaart af te zetten.

Het punt kan, behalve op andere wijzen, in ligging gegeven zijn:

a. door zijne Breedte en Lengte;

b. door de richting en den afstand tot een ander punt op de kaart.

a. Om een punt naar zijne Breedte en Lengte op de kaart af te zetten, zoekt men die gegevens op den rand der kaart, en trekt door die punten den meridiaan en de parallel, welker snijpunt dan het gevraagde punt zal zijn. Dewijl op de kaarten meridianen en parallellen voorkomen, kan men ook met twee passers de afstanden op den rand tot de naaste lijnen meten, en de passers met het eene been langs die lijnen voortschuiven, tot dat de beide andere beenen in hetzelfde punt vallen. Men teekent dan met potlood het punt aan, door een klein cirkeltje te trekken om het punt, waar de passers samenkomen. Deze manier is zelfs te verkiezen boven de eerstgenoemde, dewijl de kaart daardoor minder beschadigd wordt.

b. Om het punt te bepalen, dat in een gegeven richting en op een gegeven afstand van een ander punt op de kaart gelegen is, zoekt men de streek op in het kompas der kaart, en trekt, met behulp van zware, gladhouten, rechthoekige driehoeken, door het punt der kaart een lijn, evenwijdig aan de genoemde streek. De onderdeelen van streken worden of op het gezicht, of door middel van een transporteur bepaald. Het afzetten van den afstand geschiedt, door tusschen de beenen eens passers een stuk van den opstaanden rand te nemen, gelijk aan den af te passen afstand, en dit van het gegeven punt op de getrokken lijn uit te zetten. Men herinnere zich hierbij, dat de opstaande rand der kaart de schaal bevat, waarnaar de kaart geteekend is. Elke Breedtegraad bevat, voor de strook der kaart, welke hij bepaalt, 15 mijlen en elke 4 minuten zijn dus één mijl. Men zorge het stuk te nemen ter wederzijde van de parallel, die ongeveer midden tusschen de beide punten ligt. Men vergelijke hierbij, hetgeen in het volgende geval, omtrent het afpassen van afstanden, wordt opgemerkt.

2°. Van een punt, dat op de kaart gegeven is, af te passen:

a. de Breedte en Lengte;

b. de richting en den afstand tot een ander punt op de kaart.

a. Door het gegeven punt trekt men een meridiaan en een parallel, tot zij den rand der kaart snijden, en leest onmiddellijk de Breedte en Lengte af; of wel, men meet met een passer den afstand van het punt tot de naaste lijn en past dienzelfden afstand op den rand af van het punt, waar de lijnen der kaart den rand snijden.

b. Men vereenigt beide punten door een rechte lijn en onderzoekt, met welke kompasstreek zij evenwijdig loopt. Om den afstand te meten, neemt men dien tusschen de beenen eens passers en houdt dien passer zoodanig op de lijn der Breedtegraden, dat de Breedte van het midden tusschen de plaatsen, in het midden van de opening des passers valt; of, door ter wederzijde van die Breedteparallel een gelijk stukje, b. v. van 2 mijl te nemen en dit op den afstand af te passen. Nauwkeuriger nog, gaat men op de volgende wijze te werk. Men zoeke, zooals dit in de Meetkunst is geleerd, door afpassing, de verhouding tusschen *ab* en *bc*, fig. 27; zoo dikwijls nu *bc* in *ab* begrepen is, zooveel maal is het getal mijlen, dat *ab* bevat, grooter dan dat van *bc*. Men kan ook nog den afstand *bc* op *ab* uitzetten, en de rest *ag* van *e* tot *f* midden tusschen *b* en *c* afpassen.

3°. Van een gegeven punt op de kaart, een gegeven koers en een gegeven verheid af te zetten.

De oplossing is dezelfde, als die in het eerste geval, *b.*

4°. Den koers en de verheid tusschen twee op de kaart gegeven punten door afpassing te bepalen.

De oplossing stemt overeen met die van het tweede geval, *b.*

d. PLAATSBEPALING VAN HET SCHIP DOOR PEILINGEN.

Heeft men gezicht van land, dan kan de plaats van het schip door peilingen bepaald worden.

1°. Door kruispeiling.

Men verstaat door een kruispeiling de gelijktijdige peiling van twee bekende landpunten.

Om hieruit, door constructie, de plaats van het schip te bepalen, trekt men op de kaart, door de bedoelde punten, lijnen evenwijdig aan de streken, waarin de bedoelde punten gepeild zijn; het snijpunt van beide lijnen, zal dan de plaats zijn, waar het schip zich bevindt.

Als de gelegenheid zulks toelaat, moeten de vaste punten zoo gekozen

worden, dat de twee peilingen, zoo na mogelijk, een rechten hoek met elkander maken.

Door berekening. De bekende punten vormen met de standplaats van het schip een platten driehoek, waarvan een zijde, namelijk de afstand der landpunten, en de drie hoeken bekend zijn, waaruit mitsdien de beide andere zijden, of de afstanden van het schip tot de vaste punten kunnen gevonden worden.

Met de peiling van een der punten als koers, en den daarbij behoorenden afstand als verheid, berekent men vervolgens de Breedte en Lengte van het schip, zooals dat vroeger bij de schuinsche koersen is aangewezen.

De aangewezen constructie komt in de praktijk meer voor, dan de berekening. Behalve dat zij lichter geschiedt, heeft zij nog het voordeel, dat zij een aanschouwelijke voorstelling geeft van de betrekkelijke ligging van het schip ten opzichte van de gepeilde landpunten. Is dan de absolute plaats van de bedoelde punten ook al eenigszins foutief, zoo zal nogtans, wanneer hunne ligging ten opzichte van elkander slechts goed is, de plaats van het schip, met betrekking tot de strekking van den wal, goed zijn aangegeven. Lost men echter het vraagstuk in dat geval door berekening op, dan zal de plaats van het schip, op de kaart afgezet met behulp van de berekende Breedte en Lengte, ten opzichte van de bedoelde punten minder juist kunnen zijn, indien men namelijk de Breedte en Lengte der punten niet aan de kaart, maar aan opgaven van Breedten en Lengten uit zeevaartkundige werken ontleent, die meestal eenigszins met de opgaven der kaart verschillen.

Voorbeeld. Men peilt kaap Ortegal OZO en kaap Prior ZtO. Op welke Breedte en Lengte bevindt zich het schip?

Bij de oplossing van deze vraagstukken is het raadzaam, eerst een figuur te teekenen, waarin ten naastenbij de plaats der drie punten wordt aangegeven, door de gepeilde punten naar hunne Breedte en Lengte, en het schip door het trekken der peilingen af te zetten.

In Tafel XXXV vindt men:

Ortegal	N. Br. = 43°46′40″ W. L. = 7°56′22″	Prior	N. Br. = 43°33′44″ W. L. = 8°19′24″

Wij zullen ons dus Ortegal in O en Prior in P kunnen denken, zie figuur 30, als wij het Breedte- en Lengteverschil dier plaatsen in aanmerking nemen. Trekken wij voorts door O en P twee Noord- en Zuidlijnen, en zij OS de peiling van Ortegal, in omgekeerden zin afgezet, en evenzoo SP die van Prior, dan zal het snijpunt S dier richtingen de plaats van het schip ten naastenbij voorstellen.

Berekenen wij nu eerst den koers en de verheid tusschen de beide plaatsen O en P.

O. N.Br. = 43°46′40″	$\mathfrak{B}$ = 2927,33	W.L. = 7 56′22″
P. „ = 43°33′44″	$\mathfrak{B}$ = 2909,43	„ = 8°19′24″
Verand. Z. = 0°12′56″	Versch. = 17′,9	Verand. W. = 0°23′ 2″

$$\text{tang } K = \frac{23}{17,9} = 1,29 \qquad K = 4\tfrac{5}{8} \text{ streek.}$$

In $4\frac{5}{8}$ streek geeft 12′,9 △ *b*. 21′ verh.

Blijkbaar hebben wij:

hoek $POZ = 4\frac{5}{8}$ str. dus hoek $SOP = 3\frac{3}{8} + 2 = 5\frac{3}{8}$ str.
hoek $OPN = 4\frac{5}{8}$ „ „ hoek $SPO = 4\frac{5}{8} + 1 = 5\frac{5}{8}$ „
hoek $PSO = 8-(1+2) = 5$ str.
en $OP = 21'$.

Voor den afstand SP hebben wij:

$$OP : SP = \text{sin } 5 \text{ str.} : 5 \text{ str.}$$

waaruit

$$SP = 21' \,.\, \frac{\text{sin } 5\frac{3}{8} \text{ str.}}{\text{sin } 5 \text{ str.}} = 22'.$$

Dewijl nu de verheid tusschen S en P, benevens de koers bekend zijn, zoo zijn de Breedte en Lengte van S lichtelijk te bepalen. Daartoe hebben wij:

in 1 streek (ZtO) geeft 22′ verh. 21′,6 △ *b*

P. N.Br. = 43°33′44″	$\mathfrak{B}$ = 2909,43	*P.* W.L. = 8°19′24″
Verand. N. = 21′36″	$\mathfrak{B}$ = 2939,32	Verand. W. = 5′57″
S. N.Br. = 43°55′20″	Versch. = 29,89	*S.* W.L. = 8°25′21″
	tang *K* = 0,199	
	△ *l* = 5′,95	

De gevraagde Breedte en Lengte van het schip zijn dus

N. Breedte = 43°55′20″; W. Lengte = 8°25′21″.

Men gaat bij deze peiling nauwkeuriger te werk, als men bovendien met een oc- of sextant, den hoek tusschen de beide voorwerpen meet. Als deze hoek niet genoegzaam overeenstemt met het verschil der peilingen, dan verbetert men de peilingen op de navolgende wijze. Zij a de eerste peiling, van het N gerekend Oostwaarts om, in graden uitgedrukt, en b de tweede peiling. Is nu A de gemeten hoek, dan zijn de verbeterde peilingen a' en b':

$$a' = \frac{a + b - A}{2} = \tfrac{1}{2}(a + b) - \tfrac{1}{2}A$$

$$b' = \frac{a + b + A}{2} = \tfrac{1}{2}(a + b) + \tfrac{1}{2}A.$$

Zeilt het schip op zulk een korten afstand van de kust, dat, bij het waarnemen der tweede peiling, de eerste merkbaar veranderd is, dan

herhale men de peiling van het eerste voorwerp en neemt van deze en de eerstgevondene het gemiddelde, hetwelk dan kan aangemerkt worden, als een met de peiling van het tweede voorwerp gelijktijdige waarneming. Uit den aard der zaak, mete men ook den hoek A, tijdens de peiling van het tweede voorwerp. Het is altijd raadzaam, dat voorwerp het eerst te peilen, hetwelk zich het naast bevindt in de richting der kiel, om zoo min mogelijk den invloed te ondervinden van de plaatsverandering, die het schip gedurende de waarnemingen ondergaat.

2°. Door twee peilingen van hetzelfde vaste punt.

Wanneer een schip langs een kust zeilt, en de gelegenheid het peilen van slechts een enkel punt veroorlooft, dan neemt men waar de streek van den horizon, waarin van het schip het bedoelde punt gezien wordt; stuurt met zekeren koers langs den wal, totdat het punt zoo mogelijk 8 streken is doorgezeild; herhaalt vervolgens de peiling en bepaalt de verheid tusschen de beide waarnemingsplaatsen van het schip, door middel van de log. Met behulp van deze gegevens, kan de plaats van het schip door de navolgende constructie en berekening bepaald worden.

Constructie. Men trekt in de kaart door het bedoelde punt lijnen evenwijdig, doch in tegengestelde richting, aan de streken, waarin het punt gepeild is, en een derde lijn evenwijdig aan den gestuurden koers. Op deze koerslijn zet men, uit het gepeilde punt, in de behoorlijke richting de verheid af, en trekt door haar uiteinde een lijn evenwijdig aan de eerste peiling, tot zij de tweede snijdt; dan zal dit snijpunt de standplaats van het schip zijn, tijdens de laatste peiling. Brengt men vervolgens door dit snijpunt een lijn, evenwijdig aan de koerslijn, dan zal het punt, waar deze de eerste peiling snijdt, de eerste standplaats van het schip zijn.

Zij tot opheldering P eenig punt, fig. 29, dat in een richting ZO gepeild wordt. Nadat er 15 mijl zijn afgelegd om de ZtW, wordt het punt gepeild NO. Men vraagt de standplaatsen van het schip te construeeren.

Wij trekken nu PR evenwijdig aan de kompasstreek NO, PQ evenwijdig aan ZO, PS evenwijdig aan de streek ZtW en maken $PT = 15$ mijl. Brengen wij verder door T de lijn TW, evenwijdig aan PQ, dan zal W het gevraagde tweede standpunt zijn. Het eerste standpunt V wordt verkregen, door VW evenwijdig aan PT te trekken.

Berekening. De peilingen vormen met de gezeilde verheid een platten driehoek, waarvan een zijde, namelijk de verheid, benevens de drie hoeken bekend zijn. Hieruit kan dus de afstand van het schip tot het gepeilde punt berekend worden, en kunnen vervolgens, met die peiling als koers en dien afstand als verheid, de Breedte en Lengte van de waarnemingsplaats, als in het vorige geval, worden gevonden.

Voorbeeld. Eenig punt P, gelegen op 40°20′ Z.Br. en 18°10′ W.L., wordt gepeild ZO½O. Men zeilt vervolgens om de Z½W 10 mijl en peilt het punt P andermaal NOtN. Men vraagt de Breedte en Lengte van het schip, tijdens de laatste peiling.

In driehoek PVW, fig. 29, is

$$\text{hoek } VPW = 3\tfrac{1}{2} + 5 = 8\tfrac{1}{2} \text{ streek}$$
$$\text{hoek } PVW = 4\tfrac{1}{2} + \tfrac{1}{2} = 5 \quad \text{,,}$$
$$VW = 10 \text{ mijl} = 40'$$

dus

$$WP = VW \frac{\sin 5 \text{ str.}}{\sin 8\tfrac{1}{2} \text{ str.}} = \frac{40' \times 0{,}831}{0{,}995} = 33',4.$$

In 3 streken geeft 33′,4 verh. 27′,7 $\triangle b$.

P. Z.Br. = 40°20′	$\mathfrak{B}$ = 2648,86	W.L. = 18°10′
Verand. Z. = 27′,7		Verand. W. = 24′,4
Bek. Z.Br. = 40°47′,7	$\mathfrak{B}$ = 2685,32	Bek. W.L. = 18°34′,4
	Versch. = 36,46	
	tang 3 str. = 0,668	
	$\triangle l$ = 24′,4	

3°. Door een enkele peiling van een vast punt, als te gelijker tijd de afstand van het schip tot dat punt gegeven is.

Constructie. Men trekt, door het gepeilde punt op de kaart, een lijn evenwijdig, doch tegenovergesteld aan de streek, waarin het voorwerp is gezien, en zet op die lijn, uit dat punt den gegeven afstand af. De gevraagde standplaats zal dan op het uiteinde van den afgepasten afstand gelegen zijn.

Berekening. Men beschouwt het gepeilde punt als de afgevaren plaats, de gepeilde streek als den koers, doch in tegenovergestelde richting, en den afstand als de verheid, en berekent daaruit de bekomen Breedte en Lengte, als of het een gewone zeilaadje gold.

Tot de volledige oplossing van dit vraagstuk, wordt de nauwkeurige kennis van den afstand gevorderd; doch meestal zal deze kennis zeer gebrekkig zijn.

Onder de middelen om den afstand van een voorwerp ten naastenbij te bepalen, behoort het meten van den hoek, waaronder een waarnemer de bekende hoogte van het voorwerp ziet.

Zij AO, fig. 31, een rechte lijn, die den waterspiegel in het punt A raakt, $AB = a$ de hoogte van een voorwerp, uitgedrukt in meters en hoek $AOB = m$ de hoek in minuten, waaronder een waarnemer in O de genoemde hoogte ziet, dan kan de driehoek ABO als plat en

rechthoekig in A beschouwd worden, zoo lang AB, in verhouding tot den afstand AO, zeer klein is. In dien driehoek is

$$AO = \frac{a}{\text{tang}\, m}.$$

Stelt men in deze uitdrukking, hetgeen ter zake van de kleine waarde van m geoorloofd is, tang $m = \sin m = m \sin 1'$, dan wordt

$$AO = \frac{a}{m \sin 1'}$$

of, in mijlen uitgedrukt,

$$AO = \frac{a}{m \sin 1' . 7407{,}4}$$
$$= 0{,}464 \frac{a}{m}.$$

Men heeft namelijk

$$\begin{aligned} \text{C. log} \sin 1' &= 3{,}536274 \\ \text{C log } 7407{,}4 &= 6{,}130334 - 10 \\ \hline \log 0{,}464 &= 9{,}666608 - 10 \end{aligned}$$

Nauwkeuriger gaat men echter te werk, als men de navolgende bijzonderheden in acht neemt.

Zij B, fig. 32, een verheven voorwerp, dat uit het punt O wordt waargenomen, CA de oppervlakte der zee, $AB = H$ de hoogte van het punt B boven die oppervlakte, $CO = h$ de hoogte van het oog, en M het middelpunt der aarde.

De lichtstraal, die uit het punt B het oog van den waarnemer treft, volgt geen rechte, maar een gebogen lijn, en het punt B zal mitsdien in de richting der raaklijn aan die kromme, en dus in B' gezien worden. Wij zullen later de oorzaak van dit verschijnsel, onder de benaming van straalbuiging, nader leeren kennen. Trekken wij verder den lichtstraal OD, die in het raakpunt D de kim bepaalt, dan zal hoek $B'OD = m$ in het algemeen de hoek zijn, waaronder de hoogte van het voorwerp boven de kim wordt waargenomen.

Trekken wij vervolgens OE loodrecht op OM, dan is de hoek EOD, dien wij k noemen, een bekende hoek, dien wij later, onder de benaming van kimduiking, meer van nabij zullen beschouwen.

Nu is blijkbaar

$$\text{hoek } B'OE = \text{hoek } B'OB + \text{hoek } BOE = \text{hoek } B'OD - \text{hoek } EOD = m - k$$

en dus

$$\text{hoek } BOE = m - k - \text{hoek } B'OB.$$

Zonder veel van de waarheid af te wijken, mogen wij aannemen, dat

de boog OB een cirkelboog is. Noemen wij de koorde OB en den straal van dien boog x en r, dan is de hoek aan het middelpunt van den boog OB, in minuten uitgedrukt:

$$\frac{x}{r \sin 1'}.$$

Klaarblijkelijk is hoek $B'OB$ de helft van dien hoek, en wij hebben dus

$$\text{hoek } B'OB = \tfrac{1}{2} \frac{x}{r \sin 1'},$$

en na substitutie in de uitdrukking voor hoek BOE, voor deze laatste:

$$\text{hoek } BOE = m - k - \tfrac{1}{2} \frac{x}{r \sin 1'}.$$

Beschrijven wij uit M den cirkelboog OA' en nemen wij aan, dat de koorde OB, de afstand OE en de boog OA' allen genoegzaam dezelfde lengte hebben, en dus gelijk x zijn, en dat hoek BEO recht is, dan komt:

$$BE = x \sin BOE = x \left\{ \sin \left(m - k - \tfrac{1}{2} \frac{x}{r \sin 1'} \right) \right\}$$

of, als wij de bogen voor de sinussen nemen,

$$BE = x (m - k) \sin 1' - \tfrac{1}{2} \frac{x^2}{r}$$

Noemen wij R den straal van de aarde MC, dan is $MA' = R + h$, en wij hebben

$$\begin{aligned} A'E &= EM - MA' \\ &= \sqrt{\{OM^2 + OE^2\}} - MA' \\ &= \sqrt{\{(R+h)^2 + x^2\}} - (R + h) \\ &= (R+h)\left(-1 + \sqrt{\left\{1 + \frac{x^2}{(R+h)^2}\right\}}\right) \\ &= (R+h)\left(-1 + \left\{1 + \frac{x^2}{(R+h)^2}\right\}^{\frac{1}{2}}\right) \end{aligned}$$

of nagenoeg

$$A'E = \tfrac{1}{2} \frac{x^2}{R+h} = \tfrac{1}{2} \frac{x^2}{R}$$

als wij, hetgeen geoorloofd is, h ten opzichte van R verwaarloozen.

Tellen wij de waarden van $A'E$ en EB te zamen, dan wordt

$$A'B = EB + A'E = x (m - k) \sin 1' - \tfrac{1}{2} \frac{x^2}{r} + \tfrac{1}{2} \frac{x^2}{R}$$

of, dewijl $A'B = H - h$ is,

$$H - h = x(m - k)\sin 1' + \tfrac{1}{2}\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)x^2$$

$$H - h = x(m - k)\sin 1' + x^2\left(1 - \frac{R}{r}\right)\frac{1}{2R}.$$

De betrekking tusschen R en r hangt af van den toestand des dampkrings. Nemen wij daarvoor de gemiddelde waarde van 0,08 aan (men zie hetgeen later onder de benaming van aardsche refractie hieromtrent wordt medegedeeld), en drukken wij het hoogteverschil $H - h$ in meters, x daarentegen in mijlen uit, dan wordt, dewijl

$$x \text{ meter} = 7407,4 \times x$$

is, als x in mijlen gerekend wordt,

$$H - h = 7407,4 \times \sin 1'(m - k)x + \frac{(7407,4)^2}{2R}(1 - 0,08)x^2$$
$$= 2,115(m - k)x + 3,619\,x^2.$$

Lossen wij uit deze vierkantsvergelijking x op, dan komt

$$x = \sqrt{\left\{\frac{H - h}{3,619} + \frac{(0,595(m - k))^2}{4}\right\}} - \frac{0,595(m - k)}{2}$$
$$= \frac{0,595(m - k)}{2}\left\{\sqrt{\left(\frac{4(H - h)}{(0,595(m - k))^2 . 3,619} + 1\right)}\right\} - \frac{0,595(m - k)}{2}.$$

Stellen wij

$$\tang^2\varphi = \frac{4(H - h)}{(0,595(m - k))^2 . 3,619}$$

dan is

$$\tang\varphi = 1,767 . \frac{1}{m - k}\sqrt{(H - h)}$$

en dus

$$x = \frac{0,595(m - h)}{2}\sqrt{\left\{\tang^2\varphi + 1\right\}} - \frac{0,595(m - k)}{2}$$
$$= \frac{0,595(m - k)}{2}\left\{\sec\varphi - 1\right\} = \frac{0,595(m - k)}{2}\left\{\frac{1 - \cos\varphi}{\cos\varphi}\right\}$$
$$= 0,595(m - k)\frac{\sin^2\frac{1}{2}\varphi}{\cos\varphi},$$

in welke formule $(H - h)$ in meters, $(m - k)$ in minuten en x in mijlen is uitgedrukt, terwijl k, voor de gegeven hoogte van het oog, in Tafel X gevonden wordt.

Voorbeeld. Uit eenig punt wordt de hoogte van een berg boven de kim, met behulp van een sextant, gemeten 42′24″. Indien de hoogte

van dien berg 1167, en die van den waarnemer 3 meter is, vraagt men den afstand van den waarnemer tot den berg.

3 meter = 9 v^t. 7 d^m.

$H = 1167$ $\qquad m = 42'24''$

$h = 3$ $\qquad k = 3'\ 4''$ . . . (Tafel X)

$H - h = 1164$ $\qquad m - k = 39'20'' = 39',33$

$H - h = 1164$ log = 3,065953

$\sqrt{(H - h)}$ log = 1,532976

$(m - k) = 39',33$ C. log = 8,405276 log = 1,594724

1,767 log = 0,247237

log tang φ = 0,185489

$\varphi = 56°52'47''$ log sec = 0,262491

$\frac{1}{2}\varphi = 28°26'23''$ 2 log sin = 9,355642

0,595 log = 9,774517

log x = 0,987374

Gevraagde afstand = x = 9,71 mijl.

4°. Door een enkele peiling op de Breedte of op de Lengte.

De plaats van het schip kan nog bepaald worden door een enkele peiling, wanneer men namelijk bekend is, hetzij met de Breedte, hetzij met de Lengte van het punt, waaruit de peiling genomen is.

Constructie. Men trekt door het gepeilde punt op de kaart, de lijn, die de genoemde peiling voorstelt, en vervolgens de parallel of den meridiaan, waarop het schip zich bevindt; de doorsnede van de eerstgenoemde lijn met een der beide andere zal, als ware het een kruispeiling, de standplaats van het schip zijn.

Men zal bij dit geval hebben acht te geven, dat de peiling, als de Breedte bekend is, zoo Noordelijk of Zuidelijk, als de Lengte bekend is, zoo Oostelijk of Westelijk als maar eenigszins mogelijk is, moet vallen, opdat de snijding der lijnen zoo mogelijk onder een rechten, althans onder een niet te scherpen of te stompen hoek plaats hebbe.

De oplossing van het vraagstuk, door berekening, geschiedt volgens het hieromtrent opgemerkte op bladz. 79 en 80, alwaar men een voorbeeld van de bewerking aantreft.

Somtijds is men in de gelegenheid twee bekende vaste punten in elkander, d. i. in dezelfde richting te brengen. Verlengt men in dat geval de lijn, die de twee bedoelde punten in de kaart vereenigt, dan zal het schip zich ergens in die lijn bevinden, en men behoeft dan slechts een ander punt te peilen, om de juiste plaats van het schip te erlangen. Het in elkander brengen van punten, ter bepaling van de richting, waarin het schip zich bevindt, heeft het voordeel, dat men bevrijd

blijft van de eigenaardige nadeelen, die aan peilingen met behulp van het kompas verbonden zijn.

Ook de astronomische peiling, die wij later zullen leeren kennen, geeft een zeer geschikt middel aan de hand, om de richting van een vast voorwerp met groote nauwkeurigheid te bepalen.

5°. Door het problema van SNELLIUS.

De standplaats van het schip kan ten slotte met groote nauwkeurigheid bepaald worden, door middel van twee hoekmetingen ten aanzien van drie in ligging gegeven vaste punten.

Constructie. Laat A, B en C, fig. 33, de drie vaste punten op de kaart, en D de standplaats van het schip zijn, waaruit de hoeken $BDA = \alpha$ en $BDC = \beta$ zijn gemeten, dan zal, bijaldien men op de zijden AB en BC van den driehoek ABC cirkelsegmenten beschrijft, die ieder in het bijzonder de gegeven hoeken α en β bevatten, het snijpunt dezer segmenten het begeerde punt D opleveren.

Om de bedoelde segmenten te construeeren, make men

$$\text{hoek } ABH = 90^\circ - \alpha \quad \text{en} \quad \text{hoek } CBF = 90^\circ - \beta,$$

richte in het midden van AB en BC de loodlijnen GH en EF op en beschrijve uit de punten H en F, welke de doorsnijdingspunten zijn van die loodlijnen met de beenen der afgezette hoeken, de cirkels ABD en BCD. Klaarblijkelijk zijn de halve bogen AB en BC de maat van de hoeken $BHG = \alpha$ en $BFE = \beta$, en te gelijker tijd die van de hoeken ADB en BDC, waaruit blijkt, dat uit het punt D, de zijden AB en BC onder de gegeven hoeken α en β gezien worden, en mitsdien D het gevraagde punt is.

In plaats van de hoeken ABH en EBF te construeeren, om de punten H en F te bepalen, kan men de lengte der loodlijnen GH en EF berekenen naar de formules:

$$GH = \tfrac{1}{2} AB \operatorname{cotg} \alpha$$
$$EF = \tfrac{1}{2} BC \operatorname{cotg} \beta,$$

hetgeen in vele gevallen gemakkelijker is, en de punten H en F met meer nauwkeurigheid doet kennen. Mocht een der hoeken, b. v. α grooter dan 90° zijn, dan wordt de cotangens negatief en de berekende loodlijn GH', fig. 34, behoort in tegengestelde richting te worden afgezet.

Vallen de punten H en F, fig. 35, ineen, dan liggen de vier punten A, B, C en D op den omtrek van denzelfden cirkel, en de plaats van het schip zal door deze methode niet te bepalen zijn, dewijl er oneindig veel punten bestaan, waaruit A, B en C, onder de gegeven hoeken kunnen gezien worden. Peilt men echter te gelijker tijd een der

vaste punten met het kompas, dan wordt door het afzetten dier peiling de plaats van het schip in den cirkel bepaald.

Berekening. Dewijl de punten A, B en C, fig. 33, in ligging gegeven zijn, kunnen wij als bekend aannemen:

$$AB = a$$
$$BC = b$$
$$AC = c$$
$$\text{hoek } ABC = B.$$

Zij voorts gegeven

$$\text{hoek } ADB = \alpha$$
$$\text{hoek } BDC = \beta$$

en laat gevraagd worden de afstanden

$$AD = m$$
$$BD = m'$$
$$CD = m''.$$

Noemen wij de hoeken DAB en DCB, M en N, dan hebben wij in den vierhoek $ABCD$:

$$M + B + N + \alpha + \beta = 360^\circ$$

waaruit

$$\tfrac{1}{2}(M + N) = 180^\circ - \tfrac{1}{2}(B + \alpha + \beta).$$

Zij ter bekorting

$$\tfrac{1}{2}(M + N) = P \quad \text{en} \quad \tfrac{1}{2}(M - N) = Q,$$

dan is

$$M = P + Q \quad \text{en} \quad N = P - Q.$$

De driehoeken ABD en DBC geven de evenredigheden

$$\sin\alpha : \sin M = a : BD \quad \text{en} \quad \sin\beta : \sin N = b : BD$$

waaruit

$$\frac{\sin(P + Q)}{\sin\alpha}\, a = \frac{\sin(P - Q)}{\sin\beta}\, b$$

of

$$\frac{\sin(P + Q)}{\sin(P - Q)} = \frac{b \sin\alpha}{a \sin\beta}.$$

Deelt men teller en noemer van het eerste lid dezer vergelijking, na ontwikkeling, door $\sin P \cos Q$, dan wordt

$$\frac{1 + \operatorname{cotg} P \operatorname{tang} Q}{1 - \operatorname{cotg} P \operatorname{tang} Q} = \frac{b \sin\alpha}{a \sin\beta}$$

en hierin $\operatorname{cotg} P \operatorname{tang} Q = \operatorname{tang} \varphi$ stellende, vindt men

$$\frac{1 + \operatorname{tang}\varphi}{1 - \operatorname{tang}\varphi} = \frac{b \sin\alpha}{a \sin\beta} = \operatorname{tang}(45^\circ + \varphi).$$

De formules tot de oplossing van het vraagstuk zijn dus:

φ	uit	$\tang(45^\circ + \varphi) = \frac{b \sin \alpha}{a \sin \beta}$
P	„	$180^\circ - \frac{1}{2}(B + \alpha + \beta)$
Q	„	$\tang \varphi \tang P = \tang Q$

$$\tfrac{1}{2}(M - N) = Q$$
$$\tfrac{1}{2}(M + N) = P$$

en hieruit M en N kennende:

$$AD = m = \frac{\sin(M + \alpha)}{\sin \alpha} a$$
$$BD = m' = \frac{\sin M}{\sin \alpha} a = \frac{\sin N}{\sin \beta} b$$
$$CD = m'' = \frac{\sin(N + \beta)}{\sin \beta} b.$$

De berekening kan met hetzelfde gemak ook aldus geschieden. Men trekke de lijnen BH, BF, HD, DF en HF, dan is in driehoek GBH

$$BH = \tfrac{1}{2} \frac{AB}{\sin \alpha} = r$$

en in driehoek BFE

$$BF = \tfrac{1}{2} \frac{BC}{\sin \beta} = r'.$$

Voorts is

$$\text{hoek } HBF = \text{hoek } ABC - (90^\circ - \alpha) - (90^\circ - \beta) = (B + \alpha + \beta - 180^\circ) = B'.$$

Wij hebben dus in driehoek HBF twee zijden met den ingesloten hoek bekend, waaruit

$$r' + r : r' - r = \tang \tfrac{1}{2}(H + F) : \tang \tfrac{1}{2}(H - F)$$
$$\text{terwijl } \tfrac{1}{2}(H + F) = \tfrac{1}{2}(180^\circ - B') = (90^\circ - \tfrac{1}{2} B') \text{ is.}$$

Hieruit $\frac{1}{2}(H - F)$ oplossende, vindt men

$$\tang \tfrac{1}{2}(H - F) = \frac{r' - r}{r' + r} \cotg \tfrac{1}{2} B'$$

vervolgens

$$\text{hoek } H = \tfrac{1}{2}(H + F) + \tfrac{1}{2}(H - F)$$
$$\text{hoek } F = \tfrac{1}{2}(H + F) - \tfrac{1}{2}(H - F)$$

en ten slotte

$$DB = 2r \sin H = 2r' \sin F.$$

Heeft men het vraagstuk naar de gegevens geconstrueerd, dan kan er, volgens de laatste manier, twijfel noch moeilijkheid omtrent de teekens bestaan.

V o o r b e e l d. Drie punten A, B en C liggen op de navolgende Breedten en Lengten:

A op 48°30′ N.Br. en 4° 5′ O.L.
B „ 49° 0′ „ 5° 0′ „
C „ 48°40′ „ 6°30′ „

Indien men dan den afstand tusschen de punten A en B onder een hoek van 50°2′, en dien tusschen B en C onder een hoek van 55°10′ meet, vraagt men de Breedte en de Lengte van het schip.

Construeeren wij, op het gezicht, eerst een figuur naar de gegevens, en nemen wij daarbij in aanmerking, dat B een weinig Noordelijker en Oostelijker dan A, en C, wat de Breedte betreft, tusschen A en B ligt, terwijl de Lengte van C het Oostelijkst is van allen, dan zal de figuur b. v. als figuur 34 uitvallen.

Wij berekenen nu eerst de afstanden AB en BC; vervolgens den hoek ABD en den afstand BD; en ten slotte den koershoek DBZ, als NZ de Noord- en Zuidlijn is, die door B gaat.

Oplossing zonder van de streektafel gebruik te maken.

B N.Br. = 49° 0′ VB = 3382,08
A „ = 48°30′ VB = 3336,58
$\triangle b$ = 0°30′ Versch. = 45,50 C log = 8,341989
B O.L. = 5° 0′
A „ = 4° 5′
Versch. = 0°55′ . . . . log = 1,740363
log tang K = 0,082352
K = 50°24′40″ log sec = 0,195572
log $\triangle b$ = 1,477121
log AB = 1,672693
$\alpha = AB$ = 47′,06.

B N.Br. = 49° 0′ VB = 3382,08
C „ = 48°40′. VB = 3351,70
$\triangle' b$ = 0°20′ Versch. = 30,38 C log = 8,517412
B O.L. = 5° 0′
C „ = 6°30′
Versch. = 1°30′ = 90′ . . . . log = 1,954243
log tang K' = 0,471655
K' = 71°20′51″ log sec = 0,495084
log $\triangle' b$ = 1,301030
log BC = 1,796114
$b = BC$ = 62′,54.

$B = K + K'$ = 50°24′ + 71°20′51″ = 121°44′15″
α = ... = 50° 2′ 0″ log sin = 9,884466
β = ... = 55°10′ 0″ log cosec = 0,085754
$(B + \alpha + \beta)$ = 226°56′51″ a = 47,06 C. log = 8,327307
$\frac{1}{2}(B + \alpha + \beta)$ = 113°28′25″ b = 62,54 log = 1,796114
180° − $\frac{1}{2}(B + \alpha + \beta) = P$ = 66°31′35″ log tang $(45° + \varphi)$ = 0,093641
$45° + \varphi$ = 51°7′47″
φ = 6°7′47″.

$P = 66°31'35''$	$\log \tan = 0{,}362246$	$\tfrac{1}{2}(M+N) = 66°31'35''$
$\varphi = 6°\ 7'47''$	„ „ $= 9{,}030979$	$\tfrac{1}{2}(M-N) = 13°53'27''$
	$\log \tan Q = 9{,}393225$	$M = 80°25'\ 2''$
	$Q = 13°53'27''$	

$M = 80°25'2''$	$\log \sin = 9{,}993898$
$a = 47.06$	$\log = 1{,}672693$
$\alpha = 50°\ 2'0''$	$\log \text{consec} = 0{,}115534$
	$\log BD = 1{,}782125$
	$BD = 60',55.$

Verder is

$$\text{hoek } DBZ = \text{hoek } ABZ - \text{hoek } ABD = \text{hoek } ABZ - (180° - \alpha - M)$$

dus

hoek $ABZ = 50°24'$	
hoek $ABD = 49°32'58''$	
hoek $BDZ = 0°51'\ 2''$	$\log \cos = 9{,}999952$
$BD = 60',55$	$\log = 1{,}782125$
	log verand. Br. $= 1{,}782077$
	Verand. Br. $= 60',54.$

B N.Br. $= 49°\ 0'$	$\mathfrak{V} = 3382{,}08$	B O.L. $= 5°\ 0'$
Verand. Z. $= 1°\ 0'32''$		Verand. W. $= 1'22''$
Bek. N Br. $= 47°59'28''$	$\mathfrak{V} = 3290{,}78$	Bek. O.L. $= 4°58'38''$
	Versch. $= 91{,}30$	$\log = 1{,}960471$
	hoek $DBZ = K'' = 0°51'2''$	$\log \tan = 8{,}171611$
		log verand. L $= 0{,}132082$
		Verand. L. $= 1',36.$

Men vindt alzoo voor de gevraagde Breedte en Lengte van het schip:

N.Br. $= 47°59'28''$; O.L. $= 4°58'38''$.

Wanneer wij het vraagstuk naar de tweede manier oplossen, dan is de berekening van DB als volgt:

$\tfrac{1}{2} a = 23',53$	$\log = 1{,}371622$	$\tfrac{1}{2} b = 31',27$	$\log = 1{,}495128$
$\alpha = 50°2'$	l. cosec $= 0{,}115534$	$\beta = 55°10'$	log cosec $= 0{,}085754$
	$\log r = 1{,}487156$		$\log r' = 1{,}580882$
	$r = 30',70$		$r' = 38',09$
	$r' = 38',09$		

$r' - r = 7',39$	$\log = 0{,}868644$
$r' + r = 68',79$	C. $\log = 8{,}162475$
$\tfrac{1}{2} B' = 23°28'\ 25''$	log cotg. $= 0{,}362246$
	$\log \tan \tfrac{1}{2}(H - F) = 9{,}393365$
	$\tfrac{1}{2}(H - F) = 13°53'42''$

$$\tfrac{1}{2}(H+F) = 66^\circ 31' 35''$$
$$\tfrac{1}{2}(H-F) = 13^\circ 53' 42''$$
$$H = 80^\circ 25' 17'' \qquad \log \sin = 9,993903$$
$$2r = 61',4 \qquad \log = 1,788168$$
$$\log DB = 1,782071$$
$$DB = 60',54$$

als te voren. De berekening van de Breedte en Lengte van het schip geschiedt verder op dezelfde wijze als bij de vorige oplossing.

Wij hebben, in de oplossing van het vraagstuk door berekening, het punt D buiten den driehoek ABC genomen; doch dit punt kan met betrekking tot de gegeven vaste punten op verschillende wijzen gelegen zijn, die tot zoo vele verschillende gevallen van oplossing aanleiding geven. Al die gevallen zijn echter in de gevonden formules begrepen, indien men de teekens der goniometrische lijnen behoorlijk in acht neemt. Voor nadere bijzonderheden over dit onderwerp, verwijzen wij naar de leerboeken der platte trigonometrie.

Omtrent het nut, dat de berekening van het vraagstuk voor de plaatsbepaling van het schip heeft, valt op te merken, dat dit niet zeer groot is. Alleen dan, wanneer de waarnemingen genoegzaam nauwkeurig zijn en het te bepalen punt eenig blijvend belang heeft, zoo als bij opmetingen het geval kan zijn, is de berekening boven de constructie te verkiezen. De constructie in de kaart geeft in elk geval een meer aanschouwelijke voorstelling, geschiedt doorgaans spoediger en is meestal geheel voldoende voor het oogmerk.

VII. HET GROOT-CIRKEL ZEILEN.

In de lagere wiskunde is aangetoond, dat de kortste afstand, tusschen twee punten op den bol, gemeten wordt langs den boog van den grooten cirkel, die door de twee genoemde punten gaat, en het moet bij gevolg voor de zeevaart een punt van overweging uitmaken, of de bekorting, die men verkrijgt door dezen boog te volgen, in plaats van de loxodroom, opweegt tegen de bezwaren, die daarbij kunnen ontstaan.

Om de genoemde bekorting met een sterk sprekend voorbeeld nader toe te lichten, merken wij op, dat de afstand tusschen twee plaatsen, A en B, fig. 36, die op 60° Breedte liggen en 180° in Lengte verschillen, langs de loxodroom, hier de parallel van 60°, $180 \times 15 \times \cos 60^\circ = 1350$ mijlen is, terwijl langs den grooten cirkel, die afstand, zijnde de boog APB, $60 \times 15 = 900$ mijlen zal bedragen, hetwelk een verschil van 450 mijlen of $\frac{1}{3}$ van den geheelen afstand uitmaakt.

Tegenover dit voordeel, staan echter in de praktijk somwijlen groote

nadeelen. Het nabij volgen van den grooten cirkel, groot-cirkel zeilen genoemd, drukt uit, het zeilen langs een kromme lijn, welke uit een aaneenschakeling van kleine loxodromen bestaat, doch zoo na mogelijk met den grooten cirkel overeenkomt. Geeft nu de groot-cirkel zeiling slechts een geringe bekorting, zooals het geval is bij plaatsen, die ter wederzijde van den equator of in elkanders nabijheid zijn gelegen, dan weegt zulks niet op, tegen de meerdere berekeningen en voorzorgen, die aan het volgen der genoemde kromme lijn verbonden zijn. Aan den anderen kant geeft somwijlen, zooals in bovenstaand voorbeeld, de groot-cirkel zeiling een groote bekorting, doch komt men daardoor op zulke hooge Breedte, of wel zoodanig in de nabijheid van klippen enz., dat het volgen van dien weg om praktische redenen niet wenschelijk zoude wezen. Noemt men de plaats, waar men zich bevindt E, de bestemmingsplaats F, dan doen zich, wanneer men van E naar F wil zeilen, met het oog op het bovenstaande, de twee volgende vragen voor:

1°. Geeft het volgen van den grooten cirkel, die door de twee genoemde punten gaat, genoegzaam voordeel?

2°. Is het mogelijk den grooten cirkel te volgen?

De beantwoording dier vragen wordt verkregen:

a. door het bepalen van den afstand tusschen E en F langs den grooten cirkel en langs de loxodroom, en door de onderlinge vergelijking dier afstanden;

b. door het bepalen van de Breedte en Lengte van het hoogste punt, dat men volgens dien weg bereikt, en vertex genoemd wordt.

a. BEPALING VAN DEN AFSTAND.

Laat a en a' de complementen zijn van de Breedten der plaatsen E en F, fig. 36, l en l' de Lengten dier punten, en zij V de gevraagde afstand tusschen E en F, dan is in den bolvormigen driehoek EPF, volgens de Neperiaansche analogiën, als wij de hoeken PEF en EFP ter bekorting E en F noemen:

$$\text{(I)} \quad \ldots\ldots \quad \text{tang}\, \tfrac{1}{2}(E+F) = \frac{\cos \frac{1}{2}(a'-a)}{\cos \frac{1}{2}(a'+a)} \text{cotg}\, \tfrac{1}{2}(l'-l),$$

$$\text{(II)} \quad \ldots\ldots \quad \text{tang}\, \tfrac{1}{2}(E-F) = \frac{\sin \frac{1}{2}(a'-a)}{\sin \frac{1}{2}(a'+a)} \text{cotg}\, \tfrac{1}{2}(l'-l),$$

waaruit E en F opgelost kunnen worden.

Voor den afstand V, heeft men in genoemden driehoek

$$\sin V = \frac{\sin a'}{\sin E} \sin (l'-l).$$

Vergelijkt men den op deze wijze verkregen afstand, nadat het aantal

graden, dat V bevat, met 15 is vermenigvuldigd, met de verheid, die men door de koers- en verheidsrekening naar het rond vindt, dan kan men daaruit beoordeelen of de groot-cirkel zeiling merkbare bekorting geeft of niet. Alleen in het eerste geval gaat men over tot de oplossing van *b*.

b. BEPALING VAN DE LIGGING VAN DEN VERTEX.

Men verkrijgt de ligging van den vertex, door uit de pool een cirkel te trekken, loodrecht op den boog EF of op zijn verlengde; de doorsnede D van deze twee cirkels is het bedoelde punt, hetwelk binnen den driehoek zal vallen, als de hoeken E en F scherp zijn, doch op het verlengde van EF gelegen zal wezen, als een der genoemde hoeken stomp is.

Voor de Breedte en Lengte van den vertex, heeft men in driehoek PED:

$$\sin PD = \cos \text{Breedte vertex} = \sin E \sin a$$

en

$$\operatorname{cotg} EPD = \operatorname{tang} E \cos a.$$

De hoek EPD opgeteld bij, of afgetrokken van de Lengte van het punt E, naar gelang de Lengte van E naar F, of omgekeerd geteld wordt, zal de gevraagde Lengte van den vertex geven. Het teekenen eener figuur, bij de berekening van het vraagstuk, met inachtneming van de behoorlijke richting en de betrekkelijke grootte der gegevens, zal in dezen voor vergissingen kunnen vrijwaren.

c. DE KOERSEN IN DEN GROOTEN CIRKEL.

Bevindt men, dat een der hoeken E of F stomp, en mitsdien de vertex buiten den driehoek gelegen is, of indien de vertex tusschen E en F ligt, dat zijne Breedte blijft binnen de parallel, die men zich als grens gedacht heeft, dan komt de beantwoording der volgende vragen in aanmerking:

1°. Met welken koers zal men moeten afvaren van het punt E?

2°. Welke koersveranderingen zullen er moeten plaats hebben, om het punt F te bereiken?

Ter beantwoording van de eerste vraag, merken wij op, dat de waarde van den hoek E bereids gevonden is. Deze hoek, uitgedrukt in streken, zal de hoek van afvaart zijn. Hij wordt gerekend gelijknamig met de Breedte als hij scherp, doch daarmede ongelijknamig als hij stomp is, en naar het O of W, naar gelang F Oostelijker of Weste-

lijker dan E gelegen is. De ligging van den vertex heft hieromtrent alle onzekerheid op.

Voorbeeld. De beide plaatsen E en F, fig. 36, liggen op N. Breedte. Dewijl de vertex in D binnen den driehoek EPF valt, en F Oostwaarts ligt van E, zoo zal de hoek van afvaart tusschen het N en O liggen.

Voorbeeld. In figuur 36, liggen de plaatsen R en S op Z. Breedte. De hoek R, d. i. die van afvaart, stomp zijnde, zoo valt de koers van R naar de Westelijker gelegen plaats S, tusschen het N en W.

De beantwoording der tweede vraag geschiedt op de eenvoudigste en zekerste wijze, door om de twee of drie dagen voor de plaats, waar het schip zich bevindt, telkens den hoek van afvaart te berekenen, met behulp der formules (I) en (II), en dezen hoek voor een of twee dagen als den te sturen koers aan te merken. Wij achten deze manier veel minder omslachtig dan die, welke in sommige zeevaartkundige werken is voorgeschreven, namelijk om vooraf eenige punten te berekenen, waardoor de groote cirkel EF zal loopen, die punten in de kaart af te zetten en den koers te richten volgens de loxodromen, die men verkrijgt, door de opvolgende punten door rechte lijnen te vereenigen. Meestal toch, blijft men niet op den aldus vooraf gemaakten trek, in welk geval alle voorloopig gemaakte berekeningen verloren zijn.

Omtrent den hoek van aankomst valt op te merken, dat zijne waarde, even als die van E, door de berekening naar de formules (I) en (II) gevonden wordt. Geeft men acht op de plaats, die de vertex ten opzichte van F inneemt, dan zal men hierin de noodige aanwijzing hebben voor de benaming, die aan den hoek van aankomst gegeven moet worden. De beschouwing der figuur, die men volgens de gegevens van het vraagstuk kan teekenen, zal ook hierin alle licht verschaffen.

Voorbeeld. Men wenscht van de Z. W. Kaap op Nieuw-Zeeland te zeilen naar kaap Hoorn. Men vraagt den afstand tusschen die plaatsen langs den grooten cirkel, de Breedte en Lengte van den vertex en de hoeken van afvaart en aankomst.

Men vindt in Tafel XXXV:

Z.W. Kaap	Z.Br. = 47°17′ O.L. = 167°30′	Kaap Hoorn	Z.Br. = 55°59′ W.L. = 67°16′

Telt men de Lengte van de Z. W. Kaap in denzelfden zin als die van kaap Hoorn, dan heeft men: 167°30′ O.L. = 192°30′ W.L. en de berekening wordt als volgt:

Breedte Z.W. Kaap = 47°17′	a = 42°43′	l = 192°30′
„ kaap Hoorn = 55°59′	a' = 34° 1′	l' = 67°16′
	$a' - a$ = — 8°42′	$l - l'$ = 125°14′
	$a' + a$ = 76°44′	$\frac{1}{2}(l - l')$ = 62°37′

$\frac{1}{2}(a'-a) = -4^\circ 21'$	$\log\cos = 9{,}998747$		$\log\sin = 8{,}879949(-)$
$\frac{1}{2}(a'+a) = 38^\circ 22'$	$C.\log\cos = 10{,}105654$		$C.\log\sin = 0{,}207123$
$\frac{1}{2}(l-l') = 62^\circ 37'$	$\log\operatorname{cotg} = 9{,}714314$		$\log\operatorname{cotg} = 9{,}714314$
	$\log\operatorname{tang}\frac{1}{2}(E+F) = 9{,}818715$		$\log\operatorname{tang}\frac{1}{2}(E-F) = 8{,}801386(-)$
	$\frac{1}{2}(E+F) = 33^\circ 22' 30''$		$\frac{1}{2}(E-F) = -3^\circ 37' 30''$
	$E+F = 66^\circ 45'$		$E-F = -7^\circ 15'$
	$E-F = -7^\circ 15'$		
	$E = 29^\circ 45'$ of $2\frac{5}{8}$ streek,		
	$F = 37^\circ 0'$ „ $3\frac{1}{4}$ „ .		

Voor den afstand en de ligging van den vertex, heeft men:

$a = 42^\circ 43' 0''$		$\log\sin = 9{,}831469$	$\log\cos = 9{,}866120$
$a' = 34^\circ 1' 0''$	$\log\sin = 9{,}747749$		
$E = 29^\circ 45'$	$C.\log\sin = 0{,}304329$	$\log\sin = 9{,}695671$	$\log\operatorname{tang} = 9{,}757052$
$l-l' = 125^\circ 14' 0''$	$\log\sin = 9{,}912121$		
	$\log\sin V = 9{,}964199$	$\log\cos$ Br. vertex $= 9{,}527140$	$\log\operatorname{cotg} EPD = 9{,}623172$
	Afstand $= V = 67^\circ 3'$		boek $EPD = 67^\circ 13'$
	of $= 1005{,}7$ mijl	Z.Br. vertex $= 70^\circ 20'$	W.L. $E = 192^\circ 30'$
			W.L. vertex $= 125^\circ 17'$.

Berekent men den afstand der beide plaatsen langs de loxodroom, dan vindt men daarvoor 1181 mijlen, en de groote cirkel geeft mitsdien een bekorting van 1181—1005,7 = 175,3 mijl.

Dewijl de Z. W. Kaap op 47° Z.Br. en 167° O.L., de vertex daarentegen op 70° Z.Br. en 125° W.L. ligt, zoo zal de koers, bij de afvaart, tusschen het Z en O vallen en ZZO$\frac{3}{8}$O zijn. Komt men in den vertex, dan wordt de koers Oostelijk en vervolgens valt hij tusschen het N en O om kaap Hoorn te bereiken, die op 55° Z.Br. en 67° W.L. ligt. De koers bij de aankomst zal mitsdien NO$\frac{3}{4}$N zijn.

d. DE GROOTE CIRKEL, DIE EEN GEGEVEN PARALLEL AANRAAKT.

Men vindt in het voorbeeld, dat wij uitgewerkt hebben, voor de Breedte van den vertex 70°20′. Verlangt men niet op zulke hooge Breedte te komen, maar b. v. slechts 60° te behalen, dan beschrijve men door de punten A en B, fig. 37, groote cirkels, die de parallel van 60° aanraken, zeilt volgens den grooten cirkel van A tot het aanrakingspunt a, vervolgens langs de parallel van 60° tot in het aanrakingspunt b van de genoemde parallel en den grooten cirkel, die door B gaat, en eindelijk langs den laatstgenoemden grooten cirkel naar B. Men moet volgens deze manier een gedeelte der parallel volgen, omdat men niet volgens een grooten cirkel van a naar B kan komen, zonder de bepaalde Breedte van 60° te overschrijden.

Om de punten a en b te bepalen, merken wij op, dat die punten de vertexen zijn van de groote cirkels, die, door A en B getrokken,

de gegeven parallel aanraken. Wij hebben dus, als wij de Lengte van het punt E tellen:

$$\text{Lengte } a = \text{Lengte } A + \varphi$$
$$\text{Lengte } b = \text{Lengte } B - \varphi'.$$

en ter bepaling van φ en φ', in de rechthoekige bolvormige driehoeken AaP en BbP, de navolgende formules:

$$\cos \varphi = \text{tang } aP \text{ cotg } AP \quad \text{en} \quad \cos \varphi' = \text{tang } bP \text{ cotg } BP$$

of

$$\cos \varphi = \text{cotg. Br. } 60^0 \text{ tang Breedte } A \qquad \cos \varphi' = \text{cotg. Br. } 60^0 \text{ tang Breedte } B.$$

Dezelfde driehoeken geven ons nog voor de verheden Aa en Bb en de hoeken van afvaart en aankomst A en B de volgende formules:

$$\cos Aa = \frac{\cos AP}{\cos aP} \quad \text{en} \quad \cos Bb = \frac{\cos BP}{\cos bP}$$

of

$$\cos Aa = \frac{\text{sin Breedte } A}{\sin 60^0} \quad \text{en} \quad \cos Bb = \frac{\text{sin Breedte } B}{\sin 60^0};$$

$$\text{cotg } A = \cos AP \text{ tang } \varphi \quad \text{en} \quad \text{cotg } B = \cos BP \text{ tang } \varphi'$$

of

$$\text{cotg } A = \text{sin Breedte } A \text{ tang } \varphi \quad \text{en} \quad \text{cotg } B = \text{sin Breedte } B \text{ tang } \varphi'.$$

De geheele verheid V zal voorgesteld worden door

$$V = Aa + ab + bB.$$

Voorbeeld. Men begeert te zeilen van een punt A, waaruit men kaap Agulhas N op 10 mijl afstands peilt, naar Hobartown op van Diemensland, volgens den grooten cirkel, doch daarbij de Breedte van 50° niet te overschrijden. Men vraagt de generale verheid, de hoeken van afvaart en aankomst, benevens de Lengte der punten, waarin men op de parallel van 50° komt.

Kaap Agulhas Z.Br. = 34°49′46″ — O.L. = 20° 0′36″

Hobartown (het punt B) Z.Br. = 42°53′30″ — O.L. = 147°21′30″

Afgev. Z.Br. = 34°49′46″
Verand. Z. = 40′
A Bek. Z.Br. = 35°29′46″.

Berekening van de Lengte van a en b.

Br. A = 35°29′46″	log tang = 9,853205	Br. B = 42°53′30″	log tang = 9,968009
„ a = 50°	„ cotg = 9,923814	„ b = 50°	„ cotg = 9,923814
	log cos φ = 9,777019		log cos φ' = 9,891823
	φ = 53°14′30″		φ' = 38°47′ 3″
	O.L. A = 20° 0′36″		O.L. B = 147°21′30″
	O.L. a = 73°15′ 6″		O.L. b = 108°34′27″.

Berekening der verheid.

Br. A = 35°29'46"	log sin = 9,763912	Br. B = 42°53'30"	log sin = 9,832901
„ a = 50°	„ cosec = 0,115746	„ b = 50°	„ cosec = 0,115746
	log cos Aa = 9,879658		log cos Bb = 9,948647
	Aa = 40°42'49"		Bb = 27°19'3"
	= 610,7 mijl		= 409.8 mijl.

O.L. b = 108°34'27"	
„ a = 73°15' 6"	
ab = 35°19'21"	
ab = 35°,32	log = 1,548021
15	„ = 1,176091
Breedte = 50°	log cos = 9,808067
	log ab = 2,532179
	ab = 340,5 mijl
	Aa = 610,7 „
	Bb = 409,4 „
	Generale verheid = 1361,0 mijl.

Berekening der koersen van afvaart en aankomst.

Br. A = 35°29'46"	log sin = 9,763912	Br. B = 42°53'30"	log sin = 9,932901
φ = 53°14'30"	„ tang = 0,126701	φ' = 38°47' 3"	„ tang = 9.905021
	log cotg A = 9,890613		lot cotg B = 9,737922
	A = 52°8'26"		B = 61°19'30"

Koers afvaart = 4⅝ str. ZO⅝O. Koers aankomst = 5½ str. NOtO½O.

Voorbeeld. Men wenscht te zeilen van Montevideo, Oostwaarts op naar King Eil. Z.Pt. in Bass-Straat, en daarbij niet Zuidelijker te komen dan op 45° Z.Br. Men vraagt de bekorting in de verheid, die de groot-cirkel zeiling oplevert.

Montevideo	Z.Br. = 34°53'18" W.L. = 56°14'48"	King Eil. Z.Pt.	Z.Br. = 40°10' O.L. = 143°56'

Noemen wij ter bekorting Montevideo A en King Eiland B.

Dewijl de Breedte van a en b 45° is, zoo wordt de berekening van de Lengte dier punten zeer eenvoudig. Wij hebben dan, in aanmerking nemende dat A op W.L. ligt, als wij de Lengte van G, fig. 37, rekenen:

Br. A = 34°53'18"	log tang = 9,843424	Br. B = 40°10'	log tang = 9,926378
	log cos φ = 9,843424		log cos φ' = 9,926378
	φ = 45°47'19"		φ' = 32°25'40"
	GA' = W.L. A = 56°14'48"		O.L. B = 143°56'
	Ga' = W.L. a = 10°27'29"		O.L. b = 111°30'20".

Br. A = 34°53'18"	log sin = 9,757376	Br. B = 40°10'	log sin = 9,809569
„ a = 45°	„ cosec = 0,150515	„ b = 45°	„ cosec = 0,150515
	log cos Aa = 9,907891		log cos Bb = 9,960084
	Aa = 36°1'		Bb = 24°12'
	= 540 mijl		= 363 mijl.

W.L. a =	10°27'29"		
O.L. b =	111°30'20"		
ab =	121°57'49"	121°,96 × cos 45° × 15 mijl =	1293,8 mijl
aA =	. . . .	=	540,0 „
Bb =	. . . .	=	363,0 „
		Generale verheid =	2196,8 mijl
		Volgens de loxodroom „ =	2384,5 „
		Gevraagde bekorting =	187,7 mijl.

e. OPLOSSING VAN HET VRAAGSTUK DOOR CONSTRUCTIE.

Reeds sedert geruimen tijd heeft men getracht de langwijlige berekeningen, die bij de oplossing der vraagstukken van het groot-cirkel zeilen voorkomen, door tafelen en constructiën te vervangen. Ziehier eenige van de middelen, om zonder berekening tot de uitkomst te geraken.

1°. Met behulp van de aardglobe.

Laat de afgevaren plaats A en de bestemmingsplaats B op de globe zijn aangestipt. Door de globe te draaien en de pool hooger of lager te plaatsen zal men de punten A en B kunnen brengen onder den houten rand of horizon van de globe, en daardoor de richting verkrijgen van den grooten cirkel, welke door de genoemde punten gaat. Gaat men vervolgens met een zacht potlood langs den genoemden rand, dan zal die cirkel gemakkelijk op de globe worden overgebracht.

Wordt op den houten rand, zooals gewoonlijk het geval is, een verdeeling van 360 graden aangetroffen, dan zal men het aantal graden van den boog, die tusschen de punten A en B begrepen is, onmiddelijk kunnen aflezen, en door het vijftienvoud daarvan te nemen, zal men den afstand tusschen de twee plaatsen in mijlen verkrijgen.

De te volgen koersen, in de verschillende punten van den cirkel, of anders gezegd de hoeken, die deze met de verschillende meridianen van de globe maakt, worden met behulp van een hoornen transporteur afgelezen.

De Breedte van den vertex wordt afgelezen op den koperen meridiaan; de Lengte op den equator der globe, waar hij door den koperen meridiaan gesneden wordt; het punt zelf ligt onder den genoemden meridiaan, waar deze den houten rand ontmoet.

Vindt men zoodoende de Breedte van den vertex grooter dan de Breedte, die men zich tot grens gesteld heeft, dan maakt men, tot het trekken van cirkels, die door de punten A en B gaan en de gestelde parallel aanraken, de hoogte van de pool boven den rand gelijk aan het complement dier Breedte en draait de globe tot dat het punt A in den rand valt. Na den boog, begrepen tusschen het punt A en den koperen

meridiaan, langs den rand te hebben aangestipt, draait men de globe totdat het punt B, bij onveranderden stand der pool, in den rand valt; hierdoor is men in staat, ook den tweeden cirkel op de globe aan te geven en voorts de te volgen koersen af te lezen, zooals bereids is medegedeeld.

Het gedeelte der parallel, begrepen tusschen de punten, die bij genoemde twee standen van den bol onder den koperen meridiaan kwamen te liggen, zal de loxodroom voorstellen, die het schip op de gestelde Breedte moet doorloopen, om van het eene tot het andere aanrakingspunt te komen.

2°. Door constructie in de wassende kaart.

Na de Lengte en Breedte van den vertex berekend te hebben, zet men dit punt in den overzeiler af. Beschrijft men vervolgens door dit punt een cirkelboog, die tevens door de punten A en B gaat, dan zal deze den verlangden grooten cirkel, met voldoende nauwkeurigheid voorstellen. De bogen toch van groote cirkels op den bol zullen op de wassende kaart, zooals bekend is, in eenige gevallen door rechte lijnen worden voorgesteld; doch in de meeste gevallen zijn het kromme lijnen, die men door cirkelbogen zal mogen vervangen.

Om de koersen te vinden, die men achtereenvolgens moet sturen, trekt men door eenige punten van den genomen cirkelboog raaklijnen. De richtingen van deze raaklijnen, op het kompas der kaart afgelezen, zullen de verlangde koersen zijn.

Is men aan een bepaalde Breedte gebonden, dan beschrijve men den cirkel door de punten A en B zoodanig, dat hij de gestelde Breedteparallel aanraakt. In dit geval zal het volgen van dezen boog nog bekorting in den af te leggen weg opleveren, naardien hij meer tot den grooten cirkel op den bol nadert, dan de loxodroom, die door de rechte lijn AB in de kaart wordt voorgesteld.

3°. Volgens de methode van ROBERT RUSSEL.

Onder den naam van Great circle tracks and distances with diagram, heeft RUSSEL een werkje uitgegeven, waarin hij een methode mededeelt om de grootheden, die men bij het groot-cirkel zeilen door berekening moet vinden, te bepalen door afpassing in de wassende kaart.

Te dien einde stelt hij, dat men tot het afzetten van het bestek gebruik maakt van de hierbij gevoegde wassende kaart, plaat II, en dat men verlangt in die kaart den grooten cirkel te construeren, die door de standplaats van het schip en de bestemmingsplaats loopt. Om deze constructie gemakkelijk te maken, geeft hij in plaat III de projectiën

van eenige groote cirkels in een wassende kaart, die naar dezelfde schaal gemaakt is, als plaat II.

Stelt men zich nu voor, dat men den grooten cirkel wil teekenen, die door twee gegeven punten in plaat II gaat, dan legt men een stuk doorschijnend papier over de gegeven punten, stipt daarop die punten aan en trekt den equator. Men draait vervolgens het papier om en legt het zoodanig op plaat III, dat de lijnen, die den equator voorstellen, elkander bedekken en zoekt, door het verschuiven van het papier, welke kromme lijn door de aangestipte punten loopt. Trekt men nu op het doorschijnende papier met zacht potlood die lijn na, dan zal, wanneer het papier, na weder omgedraaid te zijn, in den eersten stand met de potloodlijn op plaat II gelegd wordt, de kromme lijn met behulp van een stiftje doorgetrokken en aldus op de kaart overgebracht kunnen worden. Heeft men de kromme lijn in de kaart getrokken, dan wordt de koers in zeker punt der kromme verkregen, door een liniaal rakend aan de kromme in dit punt te leggen en verder de richting van de liniaal met behulp van de kompasstreken der kaart af te lezen.

Zooals men echter lichtelijk zal inzien, moet het een zeldzaamheid zijn, dat men zich na eenige dagen nog in de getrokken lijn bevindt, en zal men alsdan verplicht zijn een nieuwe lijn te trekken. Behalve dat de kaart door het gedurig teekenen van nieuwe lijnen beschadigd wordt, is het lastig, dat men altijd verplicht is, het bestek in plaat II af te zetten, en wij geven dus de voorkeur aan de volgende methode, die in beginsel met die van RUSSEL overeenstemt.

4°. Door afpassing in plaat III.

Plaat III stelt, zooals gezegd is, een wassende kaart voor. In deze kaart is PQ de halve equator; de opstaande lijnen zijn de meridianen, de horizontale de parallellen, terwijl de kromme lijnen 10, 20, 30 enz. de projectiën der groote cirkels voorstellen, die door één punt van den equator getrokken, de parallellen van 10°, 20°, 30° Breedte, enz. aanraken. De vertexen dier cirkels zullen gelegen zijn op de lijn VW, die de projectie is van het vlak, dat de gemeenschappelijke middellijn rechthoekig snijdt.

De kromme lijnen a, b, c, enz. zijn de projectiën der kleine cirkels, die uit de twee doorsnijdingspunten van den equator, als polen, op 10° afstands van elkander beschreven, de eerstgenoemde cirkels verdeelen in stukken, die een lengte hebben van 150 mijlen.

Het gebruik van deze kaart, voor de oplossing van het vraagstuk der groot-cirkel zeiling, berust op de eigenschap, dat de groote cirkel, die door twee punten op aarde gaat, de meridianen dier punten snijdt op afstanden van den equator, gelijk aan hunne Breedten, terwijl de afstand dier meridianen gelijk is aan het Lengteverschil der beide punten.

Om dus in de kaart de kromme lijn te vinden, die door twee gegeven punten gaat, heeft men te onderzoeken, welke kromme lijn de parallellen der beide plaatsen zoodanig snijdt, dat de afstand tusschen de meridianen dier snijpunten gelijk is aan het Lengteverschil der beide plaatsen.

Ten einde het afzetten van het bedoelde Lengteverschil gemakkelijk te maken, is de lijn PQ in 90 gelijke deelen verdeeld, die elk dus 2° Lengte voorstellen. De cijfers, die men op den boven- en onderkant der kaart aantreft, dienen om de genoemde deelen te merken. Men heeft omtrent deze cijfers in acht te nemen, dat zij voor elk ander geval een bijzondere waarde hebben, zooals wij hierna zullen aantoonen.

Voor de duidelijkheid, willen wij de verklaring van het gebruik der kaart in den vorm van een voorbeeld geven.

a. Bepaling van den grooten cirkel, die door twee gegeven punten gaat.

Laat A en B twee plaatsen op aarde zijn, A gelegen op 20° N.Br. en 30° O.L., B op 35° N.Br. en 128°30' O.L., dan is het Lengteverschil dier plaatsen 98°30'.

Om nu den grooten cirkel te bepalen, die door de genoemde plaatsen gaat, zet men op een strook papier, die men langs de lijn PQ legt, een afstand uit van 98°30', terwijl men in het oog houdt, dat de cijfers, die onder en boven aan den rand der kaart staan, tot dus verre geen ander doel hebben, dan om een gegeven aantal graden te kunnen afpassen. Stellen wij, dat men het eene uiteinde van den afgezetten afstand op den meridiaan K houdt, dan komt het andere uiteinde in het punt L. Verschuiven wij nu de strook tusschen de meridianen K en L naar boven, waarbij die strook steeds evenwijdig aan de lijn PQ moet blijven, dan zal men opmerken, dat, wanneer het linker uiteinde van den afgezetten afstand in het punt A' komt, welk punt volgens de kaart op 20° N.Br. ligt, en dus het rechter uiteinde in L' is, de kromme lijn gemerkt 40, den meridiaan L op 35 N.Br. snijdt. Blijkbaar voldoet alzoo de genoemde kromme lijn aan den bovengestelden eisch en zal zij in de wassende kaart de projectie zijn van den grooten cirkel, die door de gegeven plaatsen gaat.

In de meeste gevallen zal men de kromme lijn, die aan de opgaven van het vraagstuk voldoet, eerst vinden, na den uitgezetten afstand eenige malen te hebben heen- en weergeschoven. Bezit men echter een weinig bedrevenheid, dan gelukt zulks spoedig.

Tot oefening zoeke de lezer de kromme lijn, die door twee punten C en D op aarde gaat, als

C	op	30	N.Breedte	en	18 O.Lengte
D	„	44°	„	„	115° „

ligt.

Men vindt de kromme lijn, gemerkt 50.

Hetzelfde wordt gevraagd voor twee plaatsen op aarde E en F, als

E	op	30° N.Breedte	en	6°	W.Lengte
F	„	24° „	„	126°	„

ligt.

Men vindt de kromme lijn, gemerkt 46.

Wordt gevraagd de kromme lijn, die door twee punten G en H op aarde gaat, als

G	op	10° Z.Breedte	en	14°	W.Lengte
H	„	18° „	„	86°15′	O.Lengte

ligt.

Men vindt de kromme lijn, gemerkt 22.

b. Bepaling van de verheid langs den grooten cirkel.

Noemen wij de doorsnijdingspunten van de parallellen in het eerste voorbeeld met de kromme lijn, gemerkt 40, A' en B', dan zal de afstand tusschen de beide plaatsen op aarde, langs den grooten cirkel, door den boog $A'B'$ worden voorgesteld. Om de grootte van dezen afstand af te lezen, behoeft men slechts te tellen het aantal verdeelingen mn, die elk, zooals gezegd is, 150 mijlen groot zijn, dat in den boog $A'B'$ begrepen is. Dat aantal bedraagt in ons geval 9. De stukjes, die te groot genomen zijn, worden evenals bij de gewone afpassing op de wassende kaart, afgelezen ter hoogte van 20° en 35° langs den staanden rand; zij bedragen te zamen $5\frac{1}{3}$° of 80 mijlen. De geheele afstand is dus

$$9 \times 150 - 80 = 1270 \text{ mijlen.}$$

Door berekening vindt men 1278 mijlen.

c. Bepaling van de ligging van den vertex.

De Breedte van den vertex wordt aangewezen door de parallel, die de kromme lijn in de kaart aanraakt. In ons geval zal de vertex op 40° N.Br. gelegen zijn. De berekening geeft 40°11′.

Bij de bepaling van de Lengte van den vertex zij men indachtig, dat de getallen, die bij de verdeeling van de lijn PQ behooren, een veranderlijke beteekenis hebben. Het opzoeken toch van de kromme lijn, die door de twee gegeven punten gaat, geschiedt door als het ware den aardgordel, die tusschen de uiterste parallellen der kaart begrepen is, zoolang te verschuiven totdat de gegeven punten in dezelfde kromme lijn vallen. Het punt A, dat gelegen was op 30° O.L., komt hierdoor onder een

meridiaan, gemerkt 26, en is mitsdien $30° - 26° = 4°$ naar de linkerzijde verplaatst. Dezelfde verplaatsing zal dus ook de vertex, die onder den meridiaan, gemerkt 90° ligt, ondergaan hebben, en men zal bijgevolg voor zijne O.Lengte vinden: $90° + 4° = 94°$.

Men vindt door berekening 94°28′.

d. Het afzetten van den koers.

In de hoogere wiskunde wordt aangetoond, dat de hoek, dien een willekeurige lijn op den bol met een meridiaan maakt, gelijk is aan zijn projectie in de wassende kaart. De koers in zeker punt van de kromme, wordt dus, evenals bij de methode van RUSSEL, met behulp van een liniaal, die de kromme in dat punt aanraakt, op het kompas der kaart afgelezen.

Men vindt in ons geval voor den hoek aan A' of den hoek van afvaart NO$\frac{3}{4}$O; door berekening verkrijgt men daarvoor 54°23′ of 4$\frac{3}{4}$ streek.

Als men het bovenstaande wel begrepen heeft, dan zal het opzoeken van de kromme lijn, elken middag bij het opmaken van het bestek, geen moeilijkheid in hebben en dus ook de koersbepaling voor het volgende etmaal lichtelijk kunnen geschieden.

e. Het vinden door afpassing van de verschillende grootheden, als men een bepaalde Breedte niet wil overschrijden.

De afpassing geschiedt volkomen op dezelfde wijze als is medegedeeld; alleen wordt het opzoeken der kromme lijn zeer vereenvoudigd.

Kiezen wij tot voorbeeld dat van bladz. 122, dan is klaarblijkelijk de kromme lijn 50, in de benedenste helft der kaart, de gevraagde kromme lijn, en het punt C, waar deze de parallel van 35°30′ Z.Br. snijdt, de afgevaren plaats.

Het aantal verdeelingen tusschen C en het aanrakingspunt bedraagt 4; de afstand, dien wij vroeger aA noemden, is dus $4 \times 150 = 600$ mijlen, terwijl wij daarvoor door berekening vonden 610 mijlen.

Het punt C ligt onder den meridiaan, gemerkt 37°30′; de afgevaren plaats op 20°0′; de verplaatsing bedraagt dus $37°30' - 20°0' = 17°30'$ naar de rechterzijde. Het aanrakingspunt van den grooten cirkel en de parallel van 50° ligt dus op $90° - 17°30' = 72°30'$ O.L.

De koers in het punt C wordt door afpassing gevonden ZO$\frac{3}{8}$O, als te voren.

Om den anderen grooten cirkel te vinden, merken wij op, dat hij de parallel van 50° moet aanraken, en de parallel van 43° snijden. De kromme lijn, gemerkt 50, zal dus den gevraagden cirkel en D de bestemmingsplaats voorstellen.

Het aantal verdeelingen tusschen D en het aanrakingspunt is onge-

veer 3. Past men het stukje, dat te veel genomen is, af, dan vindt men daarvoor 45 mijlen en de afstand, dien wij vroeger bB noemden, bedraagt dus 450—45 = 405 mijlen, terwijl de berekening aangaf 410 mijlen.

Om de Lengte te vinden van het aanrakingspunt b, merken wij op, dat D onder den Meridiaan komt, die met 128 gemerkt is. De plaats ligt echter op 147°21′ O.L. en D ligt dus 147°21′—128° = 19°21′ te veel naar de linkerhand. Het gevraagde komt dus volgens de kaart op 90° + 19°21′ = 109°21′ O.L.

Zetten wij den koers in het punt D af, dan vinden wij voor den koers van aankomst NOtO½O, als vroeger.

Lossen wij het voorbeeld van bladz. 123 nog door afpassing op.

Dewijl de kromme lijn de parallel van 45° moet aanraken, en deze lijn niet in de kaart voorkomt, trekken wij haar uit de hand met zacht potlood. De gestippelde lijn zij de bedoelde.

De Breedte van Montevideo 34°53′ zijnde, zoo zal deze plaats in de doorsnede der kromme lijn met de parallel van 35° liggen en E die plaats voorstellen.

Wij vinden, bij den meridiaan van dit punt, het cijfer 44°30′; dewijl Montevideo Westwaarts ligt en de telling der verdeelingen van de lijn PQ Oostwaarts is gericht, zoo bedraagt de verplaatsing:

$$44°30' + 56°15' = 100°45'.$$

Verplaatsen wij dus het punt van den vertex zooveel als door dit getal wordt aangewezen, dan komt hij op 100°45′—90° of op 10°45′ W.L. te liggen, en deze zal dus de Lengte van het aanrakingspunt a zijn.

Het aantal verdeelingen, begrepen tusschen het punt E en het aanrakingspunt, bedraagt 4, waarvan moet worden afgetrokken EE'. De afstand is dus 4 × 150—60 = 540 mijl.

Voor den anderen cirkel vinden wij weder de lijn 45°, terwijl King Eiland in F komt te liggen. Wij hebben dus

O.L. King Eiland =	143°56′
Meridiaan van F =	122°45′
Verplaatsing =	21°11′ links
Vertex op =	90°
O.L. punt b =	111°11′

zooals vroeger door berekening.

De afstand van het punt b tot King Eil. bedraagt volgens de kaart 2 verdeelingen, vermeerderd met 4¼°, en is alzoo 2 × 150 + 64 = 364 mijl.

Dewijl de groot-cirkel zeiling geen bekorting oplevert, als de plaatsen in verschillende halfronden gelegen zijn, zoo is de kaart alleen ingericht voor plaatsen met gelijknamige Breedten.

Het nut van de aangewezen constructie bestaat hoofdzakelijk hierin:

1°. dat er vele langwijlige berekeningen achterwege kunnen blijven, waardoor veel tijd gewonnen wordt;

2°. dat schepen, die het in den wind hebben, op een gemakkelijke wijze zich kunnen vergewissen, aangaande den boeg, dien zij moeten kiezen, om de bestemmingsplaats het meest te naderen.

Ten einde dit laatste punt met een voorbeeld op te helderen, zij X de standplaats van een schip, gelegen op 35° N.Br. en het schip bestemd naar een plaats Y op 15° N.Br., dan zal, als het Lengteverschil 140°30′ bedraagt, 55 den grooten cirkel voorstellen, die over die punten gaat, en NO de koers van afvaart zijn, terwijl langs de loxodroom de koers O$\frac{3}{4}$Z is.

Is nu de wind OZO, dan zal het schip langs den grooten cirkel koers liggen, doch langs de loxodroom moeten opwerken.

Wordt de wind Oostelijk, dan moet het schip in beide koerslijnen opwerken; over den boeg, waarbij het de loxodroom het meest nadert, ligt het schip ZZO voor en mitsdien 6 + 4 = 10 streken beneden den koers langs den grooten cirkel. Over den anderen boeg zal het schip met NNO voor, slechts 2 streken beneden den waren koers liggen, en men bespeurt, dat het schip zich, bij de eerstgenoemde richting, van de bestemmingsplaats verwijdert, in plaats van deze, zooals men aanvankelijk zou meenen, het meest te naderen.

VIII. VRAAGSTUKKEN TOT OEFENING.

1. Men vindt op de wachtlei:

		Achtermiddag.		Platvoet.	
1ste	glas	N$\frac{1}{2}$O	6 mijl,	Oost	8 mijl,
2de	„	N$\frac{1}{4}$W	5 „	OtZ	7 „
3de	„	NtO	5 „	OZO$\frac{1}{2}$O	7 „
4de	„	NNO	6 „	O$\frac{1}{4}$N	8 „
5de	„	N$\frac{3}{4}$W	4 „	OZO	2 „
6de	„	NtW	2 „	ZOtO	1 „
7de	„	Geen vertier		OZO$\frac{1}{2}$O	1 „
8ste	„	„		Geen vertier.	

Men vraagt, wat er op die wachten is behouden.

Antw. Op den achtermiddag N$\frac{1}{2}$O 3$\frac{1}{2}$ mijl; op de platvoet O$\frac{3}{4}$Z 4$\frac{1}{4}$ mijl.

2. Op de wachtlei leest men:

Dagwacht	1ste glas	WtZ	8	mijl,
	2de „	WZW	7	„
	3de „	W$\frac{1}{2}$N	8	„
	4de „	WtN	6	„
	5de „	WZW$\frac{1}{2}$W	7	„

Men vraagt, wat er is behouden te $6^u 15'$ des morgens.

Antw. W½Z 4 mijl.

3. Op de wachtlei wordt gevonden:

Eerste wacht	1ste glas	NtO	8	mijl,
	2de „	„	7	„
	3de „	„	5	„
	4de „	„	6	„
	5de „	„	6	„

Men vraagt, op welk tijdstip het schip NtO 3½ mijl heeft gemaakt.

Antw. Te $10^u 10'$ des avonds.

4. Van een plaats, gelegen op 17°20′ N.Br. en 7°10′ W.L., wordt gezeild recht Noord 195 mijl. Men vraagt de bekomen plaats.

Antw. De bekomen plaats ligt op 30°20′ N.Br. en 7°10′ W.L.

5. Van 10°20′ N.Br. en 6°20′ O.L. zeilt men tot op 12°20′ Z.Br. en 6°20′ O.L. Men vraagt hoeveel mijlen daartoe zijn afgelegd.

Antw. 340 mijlen.

6. Men vraagt den afstand tusschen twee plaatsen, die onder denzelfden meridiaan liggen, als de N.Br. van de eene plaats 40°20′, die van de andere 24°50′ is.

Antw. 232,5 mijl.

7. Van 10° N.Br. en 5°7′ O.L., wordt gezeild recht West 70 mijl. Men vraagt de bekomen plaats.

Antw. De plaats ligt op 10° N.Br. en 0°22′,8 O.L.

8. Van 46°45′ Z.Br. en 2°10′ W.L., wordt gezeild recht Oost 620 mijl. Men vraagt de bekomen Lengte.

Antw. 58°8′,3 O.L.

9. Hoeveel mijlen moet men afleggen op de parallel van 37°30′, om 12° in Lengte te veranderen?

Antw. 142,8 mijl.

10. Op welke Breedte komt een verandering in Lengte van 4°10′ overeen met 40 mijlen verheid?

Antw. Op 50°12′30″ Breedte.

11. Men vraagt den afstand in mijlen tusschen twee plaatsen, die op 25° N.Br. liggen, als de W.Lengte van de eene plaats 5° en de O.L. van de andere 3°30′ is.

Antw. 115,5 mijl.

12. Hoeveel mijlen bevat 1° van de parallel, op 51°30′ Breedte?

Antw. 9,34 mijl.

13. Twee plaatsen liggen op 30°15′ Z.Br. 230 mijl van elkander. Indien uit elk dezer plaatsen een schip 180 mijl recht Zuid stuurt, vraagt men, op welken afstand zich die schepen dan van elkander zullen bevinden.

Antw. Op 197 mijl.

14. Van 22°50′ Z.Br. en 17°6′ W.L., wordt gezeild ZZO¾O 50 mijl. Men vraagt de bekomen plaats.

Antw. 25°41′,5 Z.Br. en 15°13′,2 W.L.

15. Van 3°10′ N.Br. en 2°10′ O.L., wordt gestuurd tot op 4°30′ Z.Br. en 3°10′ W.L. Men vraagt den gezeilden koers en de verheid.

Antw. ZW⅝Z 140,7 mijl.

16. Een schip wraakt twee streken. Welken koers moet men sturen om van 5°10′ N.Br. en 7°3′ O.L. op 7°30′ N.Br. en 8°6′ O.L. te komen, als de wind WNW is?

Antw. Noord.

17. Van 24°18′ Z.Br. en 42°10′17″ O.L. wordt gezeild: Z¾O 5, Z½W 6, N¼O 8, NNO¾O 6, ZWtW½W 4 en ZZW⅛W 7 mijl. Men vraagt de bekomen Breedte en Lengte, benevens den generalen koers en de verheid.

Antw. 24°42′,2 Z.Br. en 41°58′,2 O.L.

Generale koers en verheid ZZW⅛W 6,6 mijl.

18. Van 15°20′ N.Br. en 12°6′ O.L. wordt gezeild: NO½O 6, ZZO½O 7, NtW½W 3, WZW 2, OZO 8 en ZtO 6 mijl. Men vraagt de bekomen plaats, benevens den generalen koers en de verheid.

Antw. 14°43′,2 N.Br. en 13°3′,2 O.L.

Generale koers en verheid ZOtO 16,5 mijl.

19. Van 60°9′ N.Br. en 0°56′ W.L. wordt gezeild: NOtN 17¼, NNO 12, Oost 10, NtW½W 7, Zuid 8, NO 12 en ZOtO 8 mijl. Men vraagt de bekomen plaats, benevens den koers en de verheid naar het rond.

Antw. 62°1′,6 N.Br. en 4°17′,3 O.L.

Generale koers en verheid = NO¾O 47,3 mijl.

20. Van 36° N.Br. en 15° O.L. wordt gezeild: Noord 60, Oost 60, Zuid 60 en West 60 mijl. Men vraagt de bekomen Breedte en Lengte.

Antw. 36° N.Br. en 15°16′,7 O.L.

21. Van 20°6′ N.Br. en 5°4′ O.L. komt men, volgens het bestek, op 24°50′ N.Br. en 3°16′30″ W.L. Indien men op de bekomen plaats bevindt, dat de ware N.Br. ~~2°36′~~ en de ware W.L. 4°50′ is, vraagt men 13°6′ den generalen gegisten koers en de verheid, den gebeterden koers en de verheid, de kracht en de richting van den stroom, benevens de peiling van een punt, dat op 28°10′ N.Br. en 6°40′ W.L. ligt.

Antw. Gegiste koers en verheid NWtW¼W 138 mijl.
Gebeterde „ „ „ WNW⅜W 145,5 „
Stroom om de ZW½Z 33,6 „
Peiling en afstand NtW⅝W 80 „

22. Van 48°20′ N.Br. en 12°14′ W.L. wordt gezeild: NtW 5, NNW½W 6, NWtW 6, WNW 6, NNW¾W 7 en ZO 2 mijl. Als op de bekomen plaats de ware N.Br. 50° en de ware W.L. 14° is, vraagt men den gegisten en den gebeterden koers, met de daarbij behoorende

verheid, benevens de peiling en den afstand van een eiland, dat op 14° N.Br. en 120° W.L. ligt.

Antw. Bekomen N.Br. = 49°41',6 Bekomen W.L. = 13°54',8.
Gegiste koers en verheid NW¼N 26,4 mijl.
Gebeterde „ „ „ NW¾N 30,5 „
Peiling en afstand van het eiland WZW 1460 „

23. Den 3den Juli 18 .. des nachts te 12u is men op 50° N.Br. en 8° O.L. Op de wachtlei is vervolgens aangeteekend:

	Hondenwacht.		Dagwacht.		Voormiddag.	
1ste glas	N	5 mijl,	NW	4	Z	5
2de „	NtO	4 „	NNW	5	ZtO	4
3de „	N	5 „	NtW½W	8	ZZO	3
4de „	N½W	3 „	NW½W	4	ZOtO	4
5de „	NNW	5 „	NNW½W	2	ZZO	5
6de „	NtW	4 „	NtW¾W	1	ZtO½O	3
7de „	NtW	3 „	NW½N	6	ZZO½O	4
8ste „	N½W	4 „	NW	8	ZOtZ	5

Men vraagt de bekomen Breedte en Lengte op den 4den te 12u 's middags, benevens den koers en de verheid sedert middernacht.

Antw. 50°17' N.Br., 7°50',8 O.L.
Generale koers en verheid NtW¾W 4,8 mijl.

24. Van 76°15' N.Br. en 12°8' O.L. wordt gezeild: ZZW 8, ZtW½W 8½, Z½W 10, Z¼O 8, NO 12, ONO 7 en Oost 10 mijl. Men vraagt het bestek naar het plat en het rond, benevens den generalen koers en de verheid.

Antw.		Naar het plat.	Naar het rond.
	Bekomen N.Br.	74°45',5	74°45',5
	„ O.L.	17°16',9	16°51',3
	Gen. koers en verh.	ZO¾Z 29,6 mijl	ZO½Z 28,4 mijl.

25. Van 52° Z.Br. en 31° O.L. is gezeild: ZtW¼W 4, ZZO¼O 8, ZO¼O 7½, OZO 10, NtW 2 en ZW¼Z 3 mijl. Op de bekomen plaats bevindt men de ware Z.Br. 52°46'26" en de ware O.L. 31°34' te zijn. Men vraagt het bestek.

Antw. Geg. bekomen Z.Br. = 53°20',1 O.L. = 32°35',5
Gegiste koers en verheid ZO¾Z 25 mijl.
Gebeterde „ „ „ ZZO½O 12,5 „
Stroom om de NW½W 12,5 „

26. Van 22°38' Z.Br. en 47°10' O.L. wordt gezeild: NO½O 6, ZZO½O 5, OZO 6, ZO 7, ZtW 8 en Oost 7 mijl, in de op elkander volgende wachten van een etmaal. Indien er gedurende de beide eerste wachten een stroom om de ZO van 15 mijl per etmaal heeft geloopen en gedurende de beide laatste een stroom om de N½O van 18 mijl per etmaal, vraagt men de bekomen plaats, benevens den generalen koers en de verheid naar het rond.

A n t w. 23°31' Z.Br. en 49°7',5 O.L.
Generale koers en verheid ZOtO$\frac{3}{4}$O 30,3 mijl.
(De verheid door afw. te zoeken.)

27. Van een punt A, waaruit de P i c k van T e n e r i f f e gepeild wordt ZZO, op 10$\frac{1}{4}$ mijl afstands, wordt gezeild in de navolgende wachten: A.M. NtO$\frac{1}{2}$O 6, P.V. NNO$\frac{3}{4}$O 5, E.W. WZW 4, H.W. N$\frac{1}{4}$W 5, D.W. NO 7 en V.M. OZO 6 mijl. Indien men gedurende de beide eerste wachten een stroom heeft gehad om de NO$\frac{1}{4}$N 1$\frac{1}{4}$ mijl per wacht, en gedurende de twee volgende een stroom om de ZO$\frac{1}{4}$O 1$\frac{1}{4}$ mijl per wacht, vraagt men de bekomen plaats, benevens den generalen koers en de verheid naar het rond.

A n t w. 30°2',8 N.Br. en 15°50',5 W.L.
Generale koers en verheid NO$\frac{3}{8}$N 22,5 mijl.

28. Van 50°10' N.Br. en 27°15' W.L. worden gezeild de navolgende koersen: ZtO$\frac{1}{4}$O 6, ZZO$\frac{3}{4}$O 7, ZO 6, OtN 5, ONO$\frac{1}{4}$O 7 mijl. Indien men gedurende dat tijdvak een stroom vermeent te hebben van 8 mijl om de WZW, doch op de bekomen plaats de Breedte 1° Noordelijker en de Lengte 1° Oostelijker vindt, dan de gegist bekomen Breedte en Lengte, vraagt men de gegist bekomen Breedte en Lengte, den gegisten koers en de verheid, den gebeterden koers en de verheid, benevens de verbeterde richting en de kracht van den stroom, naar het rond.

A n t w. Gegist bekomen N.Br. = 49°5',8 W.L. = 25°50',6.
Gegiste generale koers en verheid ZO$\frac{3}{8}$Z 21$\frac{1}{4}$ mijl.
Gebeterde " " " O$\frac{1}{4}$Z 23 "
Verbeterde stroom om de NtO 12,4 "

29. Welken koers moet men sturen en hoeveel mijlen behouden, als men van kaap L e z a r d naar kaap F i n i s t e r r e wil zeilen, wanneer er een stroom loopt om de OZO 2 mijl per wacht en de gelegenheid een 7 mijls vaart medebrengt?

A n t w. ZW$\frac{3}{8}$Z. 118 mijlen.

30. Men vraagt als boven, wanneer men van kaap S p a r t e l naar kaap P o r t o - S a n t o wil zeilen, als er een stroom loopt om de ZZO van 1$\frac{1}{4}$ mijl per wacht en de gelegenheid een 5 mijls vaart medebrengt.

A n t w. W$\frac{1}{2}$Z. 141,5 mijl.

31. Gepeild het vuur van S p u r n ZW en te gelijker tijd dat van F l a m b o r o u g h NNW$\frac{1}{2}$W. Men vraagt de standplaats van het schip.

A n t w. 53°41'16" N.Br. en 0°18' O.L.

32. Men peilt den vuurtoren van K i j k d u i n ZWtW en den tijdbal te N i e u w e d i e p ZZO. Op welke Breedte en Lengte bevindt zich het schip?

A n t w. N.Br. = 52°59'9". O.L. = 4°45'48."

33. Een punt, gelegen op 36°20',6 N.Br. en 5°6' W.L., wordt gepeild des morgens te 7^u van zekeren dag N$\frac{1}{2}$O en te 10^u des morgens van denzelfden dag NWtW. Indien de koers van het schip OtN en

de vaart per wacht 7 mijl was, vraagt men de Breedte en Lengte van het schip tijdens de beide peilingen.

Antw. 36°3',9 N.Br. en 36° 7',9 N.Br.
5°8',0 W.L. 4°42',4 W.L.

34. Des avonds te 8ᵘ van zekeren dag, peilt men het vuur van kaap Finisterre ZO. Op de wachtlei vindt men aangeteekend:

Eerste wacht 1ˢᵗᵉ glas ZW½W gelogd 6 mijl.
2ᵈᵉ „ „ „ 8 „
3ᵈᵉ „ „ „ 7 „
4ᵈᵉ „ „ „ 6 „

Indien men te 9ᵘ45ᵐ het genoemde vuur OtN peilt, vraagt men de Breedte en Lengte van het schip tijdens de laatste peiling.

Antw. 42°50'2" N.Br. en 9°34'40" W.L.

35. Terwijl men zich op 52°47' N.Br. bevindt, peilt men den vuurtoren van Kijkduin NO¼O. Indien men later de vuren van Zuid-Voorland WtZ peilt op 3 mijl afstands, vraagt men, welken koers het schip en hoeveel mijlen het afgelegd heeft.

Antw. ZW½W. 35 mijl.

36. Van een punt *A*, gelegen op 51°3',6 N.Br. en 0°36',8 WL., stuurt men met een Noordwestelijken koers tot op 4° W.L. Men vraagt de Breedte der bekomen plaats, benevens de peiling en den afstand van een punt *B*, dat op 7° W.L. en 64° N.Br. ligt.

Antw. Bekomen N.Br. = 53°8'.
Peiling N¾W. 164 mijl.

37. Drie punten *A*, *B* en *C* liggen op de navolgende Breedten en Lengten:

A op 43° 2'30" Z.Br. en 8°12'30" W.L.
B „ 43°31'48" „ „ 7°10'30" „
C „ 43° 0'24" „ „ 5°41' 0" „

Indien men den afstand der punten *A* en *B* onder een hoek van 40°30'20" en dien van de punten *B* en *C* onder een hoek van 68°12'7" waarneemt, vraagt men de Breedte en Lengte des waarnemers.

Antw. Z.Br. = 42°28' 7"
W.L. = 6°59'30"

38. Men vraagt den afstand van de vuren van Lezard en St. John op Newfoundland, langs den grooten cirkel, benevens de koersen van aankomst en van afvaart, de ligging van den vertex en de verheid langs de loxodroom.

Antw. Afstand langs den grooten cirkel 475,8 mijl.
Koers van afvaart WNW¼W.
„ „ aankomst WZW¼W.
Ligging van den vertex 52°45'45" N.Br. en 30°26'5" W.L.
Loxodromische koers en verheid West 485 mijl.

39. Men wenscht langs den grooten cirkel te zeilen van Prinsen Eil. (Straat Sunda) naar kaap Agulhas. Men vraagt den afstand, de hoeken van afvaart en van aankomst en de ligging van den vertex.

Antw. Afstand 1234 mijlen.
Koers van afvaart ZWtW.
„ „ aankomst W$\frac{1}{4}$N.
De vertex ligt 34°55′20″ Z.Br. en 24°45′40″ O.L.

40. Men bevindt zich den 1sten Mei 18.. op 20°5′ Z.Br. en 22° W.L. en begeert Oostwaarts te zeilen tot op de parallel van 45°, langs den grooten cirkel welke die parallel aanraakt. Indien het schip gemiddeld 50 mijl per etmaal behoudt, de koers bij het middag-bestek veranderd wordt, en de ware Breedte elken middag, 30′ Zuidelijker is dan de gegiste, vraagt men de koersen, die achtereenvolgens gestuurd moeten worden, zoo nauwkeurig mogelijk op te geven, benevens den dag en het uur van aankomst op de gegeven parallel.

Antw. 1	Mei	Z 48°50′28″	O	7	Mei	Z 59°54′33″	O
2	„	Z 50 4 38	O	8	„	Z 62 49 42	O
3	„	Z 51 31 30	O	9	„	Z 66 11 5	O
4	„	Z 53 12 15	O	10	„	Z 70 5 16	O
5	„	Z 55 8 24	O	11	„	Z 74 44 15	O
6	„	Z 57 21 43	O	12	„	Z 80 45 33	O

Aankomst op de parallel den 13den, des morgens te 5u 35m 2s.

41. Indien men wenscht te zeilen van St. Helena naar Rio-Janeiro, langs den grooten cirkel, vraagt men den afstand, de hoeken van afvaart en aankomst, benevens de ligging van den vertex.

Antw. Afstand = 538,3 mijl.
Hoek van afvaart WZW$\frac{3}{4}$W
„ „ aankomst W$\frac{1}{4}$Z
De vertex ligt op 23°18′12″ Z.Br. en 54°15′37″ W.L.

42. Men vraagt als boven, indien men van Honkong naar Alcatraz Eil. bij San Francisco bestemd is.

Antw. Afstand = 1203 mijlen.
Hoek van afvaart NO$\frac{3}{4}$N.
„ „ aankomst ZO$\frac{3}{4}$O.
Vertex: N.Br. = 51°45′19″ W.L. = 174°40′28″.

43. Men vraagt als boven, indien men begeert te zeilen langs den grooten cirkel van Port-Jackson naar kaap Hoorn.

Antw. Afstand = 1265 mijlen.
Hoek van afvaart ZtO$\frac{3}{4}$O.
„ „ aankomst NNO$\frac{3}{4}$O.
Vertex: Z.Br. = 73°4′ W.L. = 130°27′.

DERDE HOOFDSTUK.

STERREKUNDE.

I. ALGEMEENE BESCHOUWINGEN.

Hebben wij in het vorige hoofdstuk gezien, op welke wijze de plaats van het schip, of het zoogenaamd gegist bestek, door de koers- en verheidsrekening kan bepaald worden, wij zullen thans overgaan tot de beschouwing van de wijze, waarop die plaats uit den stand der hemellichten, het gebeterd bestek, kan worden afgeleid. De mededeeling van eenige bijzonderheden, de hemellichten betreffende, moge echter die beschouwing voorafgaan.

Onder den algemeenen naam van hemellichten of hemellichamen verstaat men de zon, de maan en die ontelbare menigte lichtende stippen, die zich bij helder weder, des nachts en gedurende de schemering, aan ons oog vertoonen. Zij schijnen ons toe vastgehecht te zijn aan de inwendige oppervlakte van hetgeen ons voorkomt als een halve bol waaraan de naam van hemelgewelf of spheer gegeven is, en waarvan de aarde het middelpunt schijnt uit te maken.

Ook de aarde behoort tot de hemellichamen. Zij is in zich zelve donker, ontleent haar licht aan de zon en zweeft, even als de andere hemellichamen, vrij in de ruimte.

In het algemeen noemt men de boven bedoelde lichtende stippen sterren.

a. DE SCHIJNBARE PLAATS DER HEMELLICHAMEN.

Op het oog af, is het ondoenlijk eenig onderscheid te zien in de afstanden van de sterren tot ons; de plaats, waar men een ster ziet, betreft dus alleen de richting, waarin dat hemellichaam zich vertoont. Men noemt die richting de schijnbare plaats. De ware plaats van een

hemellichaam wordt verkregen, door die richting te verbinden met den afstand van de ster tot ons, en met de ware plaats der aarde ten opzichte van een vast aangenomen stelsel van coördinaatvlakken.

Iets dergelijks valt op te merken omtrent den afstand tusschen twee sterren. Wij kunnen slechts den hoek waarnemen, dien de richtingen dier sterren in het oog maken. Zijn de schijnbare plaatsen of richtingen, waarin twee sterren gezien worden, met betrekking tot drie bekende richtingen gegeven, dan zal men, met behulp der bolvormige trigonometrie, den betrekkelijken stand dier sterren, d. i. den hoek, waaronder zij gezien worden, kunnen vinden. Om echter den afstand van twee hemellichamen in een rechte lijn te kennen, moet men, behalve de richtingen waarin zij gezien worden, ook hunne afstanden tot de aarde kennen.

Denkt men zich door de drie bekende richtingen, twee aan twee, vlakken gebracht, dan zullen deze als coördinaatvlakken zijn aan te merken. Zij snijden den hemel volgens drie groote cirkels.

b. DE PUNTEN EN CIRKELS, DIE TER BEPALING VAN EEN PUNT AAN DEN HEMEL GEBEZIGD WORDEN.

Even als men, bij de keuze van de cirkels, die ter bepaling van een punt op de oppervlakte der aarde zullen dienen, gebonden was door de voorwaarden, dat zij onveranderlijk van stand, en lichtelijk weder te vinden moesten zijn, zoo heeft men ook bij het aannemen der cirkels aan den hemel, tot een dergelijk doeleinde, soortgelijke overwegingen doen gelden.

De aarde wentelt in 24^u om een lijn, die de as genoemd wordt.

De twee punten P en P' van de spheer, fig. 38, waarop de as gericht is, noemt men de polen des hemels. Elke plaats op aarde heeft een dezer polen boven den horizon, uitgenomen die plaatsen, welke op 0^0 Breedte liggen, en zooals wij later zien zullen, de beide polen in haren horizon hebben.

Denkt men zich het vlak van den equator der aarde onbepaald uitgebreid, dan snijdt het den hemel volgens een grooten cirkel EQ, die de equator van den hemel genoemd wordt.

De groote cirkels PSP', PEP', enz., die door de beide polen gaan, dragen den naam van declinatie- of uur-cirkels. De afstand AS van eenig hemellicht S tot den equator, gemeten langs zijn declinatie-cirkel, heet declinatie, terwijl het deel des equators ΥEA, begrepen tusschen dien declinatie-cirkel en een zeker vast punt Υ, de rechte-opklimming van het hemellicht S genoemd wordt. De declinatie is Noordelijk of Zuidelijk, naar gelang het hemellicht tusschen den equator en de Noord- of tusschen den equator en de Zuid-pool staat; zij wordt geteld van den equator naar de polen en kan nimmer meer bedragen dan 90°. De rechte-opklimming wordt altijd geteld in denzelfden

zin: te weten, van de rechter- naar de linkerhand, tegen den zin der beweging van de wijzers van een horologie, als men de Noordpool boven zich heeft, dus in de tegengestelde richting van de schijnbare dagelijksche beweging van de zon aan den hemel. Zij wordt veelal niet in graden, maar in uren uitgedrukt, en kan van 0^u tot 24^u bedragen. Wij duiden haar aan door het teeken *Æ*.

Door de declinatie en de rechte-opklimming van een hemellicht, is zijne schijnbare plaats aan den hemel volkomen bepaald. Bovendien is het in vele gevallen noodig, zijne plaats te kennen, voor een bepaald oogenblik, ten opzichte van de ons omringende voorwerpen. Vereenigt men in zijne verbeelding het middelpunt der aarde met de plaats van den waarnemer op haar oppervlak, en verlengt men dien straal, tot dat hij den hemelbol in een punt T snijdt, dan draagt dit punt den naam van toppunt of zenith. Dit punt geeft op de hemelglobe de plaats des waarnemers aan, met betrekking tot de andere punten des hemels.

Men heeft namelijk:

$$ECR = ECT \text{ (gemeten door } ET) = \text{de Breedte van } R = b.$$
$$TCP = 90° - b = \text{boog } TP.$$

Verlengt men de lijn CT naar beneden, dan ontmoet zij den hemel in een punt V, het voetpunt of nadir genoemd. Het vlak ZN, dat de lijn TV rechthoekig snijdt en de aarde in het punt R aanraakt, is de schijnbare horizon van dat punt, dus genoemd ter onderscheiding van den waren horizon $Z'N'$, die, evenwijdig aan den eersten, door het middelpunt der aarde gedacht kan worden. De groote cirkels $TSMV$, die door het top- en voetpunt gaan, heeten vertikaal- of hoogtecirkels. Daaronder verdient opmerking de eerste vertikaal, zijnde de vertikaal, die door het Oost- en Westpunt des horizons, d. i. door de punten gaat, waarin deze door den equator gesneden wordt.

De groote cirkel $TPNN'QVZE$, die door het toppunt eener plaats en de pool gaat, is vertikaal- en uur-cirkel te gelijker tijd; hij draagt den naam van meridiaan dier plaats; hij staat loodrecht op den horizon en deelt dezen middendoor in twee punten, waarvan het punt, dat aan de zijde der Noord-pool gelegen is, het Noorden of Noordpunt en het tegenovergestelde het Zuiden of Zuidpunt van den horizon genoemd wordt. De rechte lijn, die gedacht kan worden de genoemde punten te vereenigen, heet de middag-lijn. De eerste vertikaal en de meridiaan snijden elkander rechthoekig, vermits uit de snijding van den waren horizon en den equator volgt, dat $OZ' = ON' = 90°$ is.

De plaats van eenig hemellicht S wordt, met betrekking tot den horizon, ook door twee bogen van groote cirkels bepaald, namelijk door den afstand SM van het hemellicht tot den horizon, gerekend langs zijn hoogte-cirkel, hoogte genoemd, en door den boog des horizons MN',

begrepen tusschen het punt, waar hij den hoogte-cirkel snijdt, en het Noord- of Zuidpunt *N'* of *Z'* van den horizon. De laatstgenoemde boog draagt den naam van azimuth. Voor plaatsen op Noorderbreedte wordt het azimuth van het Noorden geteld, voor Zuidelijke plaatsen van het Zuiden.

In plaats van den boog *MN'*, kan men zijn complement *OM* als tweede coördinaat bezigen; men geeft daaraan den naam van amplitudo. De laatstgenoemde wordt geteld van het Oost- of Westpunt des horizons, in de richting van het Noord- of Zuidpunt. Het azimuth kan van 0° tot 180°, de amplitudo daarentegen niet meer dan 90° omvatten. In plaats van de hoogte van een hemellicht, bezigt men ook het complement *ST* daarvan, en geeft daaraan den naam van topsafstand.

Beschouwt men den hemelbol als de plaats van oneindig ver, althans op onmetelijk grooten afstand van ons verwijderde hemellichten, zooals de sterren, dan zal men, bij het maken van een aanschouwelijke voorstelling, de aarde moeten aanmerken als een punt, dat het middelpunt van den genoemden bol inneemt. Beschouwt men daarentegen de plaatsen op den hemelbol van hemellichten, die zich op meetbare afstanden van ons bevinden, zooals de zon, de maan en de planeten, dan mag de straal van de aarde niet meer gelijk nul gesteld, en dus de aarde niet meer als een punt aangemerkt worden; de schijnbare horizon zal in dat geval niet met den waren mogen verwisseld worden.

C. DE DAGELIJKSCHE BEWEGING DES HEMELS.

Beschouwt men den hemel met zijne lichtende punten eenigszins aandachtig, en denkt men zich de sterren als aan het hemelgewelf zelf verbonden, dan ziet men, dat het zich met betrekking tot den horizon verplaatst. Aan de Oostzijde schijnen die punten op te gaan en zich in een schuinsche richting meer en meer boven den horizon te verheffen, tot dat zij in den meridiaan een hoogste punt bereiken. Vervolgens schijnen zij aan de Westerkim onder te gaan. Daarbij behouden zij echter hunne onderlinge standen en herhaalt zich de volgende dagen het verschijnsel op volkomen dezelfde wijze. Merkwaardig is het, dat de horizon door iedere ster telkens weêr in dezelfde punten gesneden wordt.

Dit verschijnsel, de dagelijksche beweging genoemd, heeft slechts schijnbaar plaats; het ontstaat ten gevolge van de wenteling der aarde om hare as, waardoor de onderscheidene punten des hemels, cirkels schijnen te beschrijven, die allen hun middelpunt hebben in de as des hemels.

Het verschil der uitkomsten, verkregen bij de bepaling van de gedaante der aarde, 1° door middel van den slinger en 2° door rechtstreeksche metingen, — wanneer namelijk bij de eerstgenoemde manier de middelpuntvliedende kracht, die het noodzakelijk gevolg is van een aswenteling der

aarde, niet in rekening wordt gebracht, — levert, zooals reeds vroeger is opgemerkt, het onomstootelijk bewijs, dat de aarde werkelijk om hare as draait, en dat het verschijnsel der dagelijksche beweging van den hemel aan een zinsbedrog moet worden toegeschreven.

1°. De rechte, evenwijdige en scheeve spheer.

De plaats van den waarnemer wordt, zooals gezegd is, aan den hemel aangewezen door het toppunt, en alzoo voor zoo verre de Breedte betreft, bepaald door de ligging van het laatstgenoemde punt, ten opzichte van de pool. Naar gelang de betrekkelijke stand van de beide genoemde punten verschilt, zal ook het verschijnsel der dagelijksche beweging voor den waarnemer onderscheiden zijn. Drie standen komen daarbij hoofdzakelijk in aanmerking:

1°. als de pool in den waren horizon des waarnemers ligt, de zoogenaamde rechte spheer;

2°. als de pool met het toppunt samenvalt, zijnde de evenwijdige spheer;

3°. als de pool een plaats tusschen de twee eerstgenoemde punten inneemt, of de scheeve spheer.

De hoogte van de pool boven den waren horizon eener plaats, de poolshoogte van deze genoemd, is gelijk aan de geographische Breedte dier plaats. Immers, in fig. 38 is

$$ECR = ECT \text{ de geographische Breedte van } R.$$
$$EP = TN' = 90^0$$

alzoo

$$ET + TP = TP + PN'$$

en dus

$$ET = PN'.$$

Bevindt men zich mitsdien op 0° Breedte, dan ligt de pool in den waren horizon; het verschijnsel is dat der rechte spheer; de equator staat loodrecht op het vlak van den horizon; ook de cirkels, die de sterren schijnen te beschrijven, en parallel-cirkels genoemd worden, zullen loodrecht staan op den horizon; en voor een waarnemer zal de rijzing en daling der hemellichten plaats hebben, fig. 39, langs kleine cirkels, die loodrecht op het vlak van den horizon staan. Een ster, die juist in het Oosten opgaat, beschrijft den eersten vertikaal, gaat door het toppunt en gaat juist in het Westen onder.

Bevindt men zich op 90° Breedte, fig. 40, in welk geval de pool samenvalt met het toppunt, dan vertoont zich de evenwijdige spheer; het vlak van den equator is tevens dat van den horizon; de hemellichten zullen zich schijnen te bewegen in kleine cirkels, die aan den laatstgenoemden cirkel evenwijdig zijn.

Bij eenig nadenken zal men al spoedig inzien, dat het verschijnsel der dagelijksche beweging, zooals wij dat in het algemeen beschreven hebben, hier, doch ook alleen in dit geval, niet van toepassing is; want dat er klaarblijkelijk geen sprake kan zijn van op- en ondergang, noch van rijzing of daling der hemellichten.

Bevindt men zich eindelijk op een Breedte, die tusschen de genoemde grenzen in ligt, dan heeft men in het algemeen het verschijnsel van de scheeve spheer. De equator snijdt den horizon dan onder een scherpen hoek, fig. 41.

2°. De dag- en nachtbogen der sterren.

De meridiaan deelt iedere parallel in twee gelijke deelen. Het punt, waarin de parallel eener ster den horizon aan de Oostelijke zijde snijdt, is het punt, alwaar de ster heet op te komen. Achtereenvolgens klimt zij in deze parallel, bereikt in den meridiaan hare grootste hoogte en daalt langs de andere helft, om in het Westelijke punt van doorsnede met den horizon onder te gaan. Het gedeelte van de parallel, dat boven den horizon gelegen is, draagt den naam van dagboog, dat onder den horizon dien van nachtboog; de betrekkelijke grootte van deze bogen is tevens die van de tijden, waarop de ster zichtbaar en onzichtbaar zal zijn. Alleen bij de rechte en scheeve spheeren, kan er van de laatstgenoemde betrekking sprake zijn. In het eerstgenoemde geval worden al de parallellen door den horizon middendoor gedeeld. Al de hemellichten zullen dus even lang daar boven, als daar beneden blijven. In het laatstgenoemde geval snijden niet alle parallellen den horizon, en van alle parallellen snijdt de horizon alleen den equator in twee gelijke, de overige alle in twee ongelijke deelen. De sterren, die boven den equator, d. i. aan de zijde van de zichtbare pool zijn gelegen, hebben een grooteren dag- dan nachtboog; de andere juist omgekeerd. De sterren, die een afstand hebben van de zichtbare pool, gelijk aan of kleiner dan de poolshoogte van de plaats der waarneming, hebben hare parallellen geheel boven den horizon; zij zullen niet ondergaan, maar altijd zichtbaar blijven. Zij dragen den naam van circumpolair-sterren. Aan de zijde van de niet zichtbare pool, zal klaarblijkelijk een gelijksoortig verschijnsel plaats hebben en zullen er sterren gevonden worden, die nimmer opgaan, maar altijd beneden de horizon van den waarnemer verborgen blijven.

In fig. 41 zijn de onderscheidene gevallen, die zich bij de scheeve spheer voordoen, aanschouwelijk voorgesteld. Daarin is

B het punt van opkomst der ster S, waarvan de dagboog BMC grooter is dan de nachtboog CDB;

M het hoogste punt, dat zij in den meridiaan bereikt;

C het punt van ondergang;

'*B* het punt van opkomst der ster S_1, waarvan de dagboog $B'M'C'$ kleiner is dan de nachtboog $C'D'B'$;

S_2 een altijd zichtbare circumpolair-ster.

S_3 een altijd onzichtbare circumpolair-ster.

Een ster, die zich in den equator bevindt, zal, vermits de equator en de horizon, als groote cirkels op den bol, elkander middendoor deelen, gelijke dag- en nachtbogen hebben. Van een ster *A*, b. v., is de eerstgenoemde boog *OEW* gelijk aan den laatstgenoemden *WQO*.

d. STERRETIJD.

De tijd wordt, in het algemeen, gemeten door de beweging van een lichaam. Beweegt zich het lichaam met eenparige snelheid, dan zijn de doorgeloopen wegen evenredig met de daartoe bestede tijden, en kunnen de eerstgenoemde tot maat voor laatstgenoemde verstrekken.

De wentelende beweging van de aarde om hare as geschiedt met een eenparige hoeksnelheid; dientengevolge zal het vlak van den declinatiecirkel eener ster, ten opzichte van den meridiaan eener plaats, in verschillende standen komen, en het snijpunt van dien declinatie-cirkel met den equator zal zich in gelijke tijdsverloopen, hoe klein ook genomen, door gelijke bogen van den laatstgenoemden cirkel schijnen te bewegen.

Wanneer de aarde zich eenmaal om hare as wentelt, zal het vlak van een willekeurigen declinatie-cirkel tweemalen met dat van den meridiaan eener bepaalde plaats samenvallen. Een ster, die op dien declinatiecirkel gelegen is, zal bij gevolg ook tweemalen door den meridiaan gaan.

Beide doorgangen worden van elkander onderscheiden door de benamingen van bovensten en ondersten doorgang. In fig. 41 is *M* de eerstgenoemde, *D* de laatstgenoemde van de ster *S* door den meridiaan *PTEZP'QN*. Het tijdsverloop, tusschen twee opvolgende bovenste doorgangen eener ster, draagt den naam van **sterredag**. Hij wordt verdeeld in 24 gelijke deelen of **sterre-uren**, ieder uur in 60 gelijke deelen of minuten, en elke minuut evenzoo in 60 secunden. De standhoek der bovengenoemde vlakken, geteld in den zin der schijnbare beweging des hemels van 0^u tot 24^u, groeit aan evenredig met den tijd; wordt gemeten door den boog des equators, die tusschen den meridiaan en den declinatie-cirkel ligt; kan alzoo ook tot maat van den verloopen tijd verstrekken, en draagt om die reden den naam van **uurhoek**.

In fig. 41 is *EPK* de uurhoek van de ster S_0; *EPQI* die van de ster *S*. Is hij, zooals in het laatste geval, grooter dan 12^u, dan wordt hij ook wel van *E* naar *I* en dus in tegengestelden zin geteld, ontvangt alsdan de benaming van **Oostelijken** uurhoek, en geeft den tijd te kennen, die er nog verloopen moet, alvorens de ster *S* in den meridiaan komt.

Het punt op den equator, dat als aanvangspunt van telling voor de rechte-opklimming is aangenomen, en dat wij later nader zullen leeren kennen, draagt den naam van Ariës en wordt aangeduid door het teeken ♈. De westelijke uurhoek van dat punt heet sterretijd; hij is nul als ♈ door den meridiaan gaat, en wordt tot 24^u doorgeteld. De sterretijd op zeker oogenblik is alzoo het aantal sterre-uren, minuten en secunden, dat erop dat oogenblik verloopen is, sedert den laatsten bovensten doorgang van ♈ door den meridiaan.

In fig. 42 is hoek EP♈ de sterretijd. Men ontwaart dat de sterretijd nog een andere beteekenis heeft, namelijk die van de rechte-opklimming van den meridiaan op dat oogenblik. Immers is ♈E de genoemde rechte-opklimming, en deze boog des equators is klaarblijkelijk tevens de maat van den uurhoek EP♈.

Bevindt zich een ster S in den meridiaan, dan is het oogenblik van haren doorgang, uitgedrukt in sterretijd, gelijk aan hare rechte-opklimming, en bij gevolg geeft de rechte-opklimming van een hemellicht ook te kennen, hoeveel tijds het na het punt ♈ door den meridiaan gaat.

Nog is blijkens de figuur:

$$EPA + AP\Upsilon = EP\Upsilon,$$

of

$$\text{Westelijke uurh. ster } S + \text{Æ ster } S = \text{sterretijd} = \text{Æ meridiaan},$$

welke formule, zooals wij later zien zullen, een veelvuldige toepassing vindt.

Iedere vaste ster heeft haren eigen uurhoek, die, ofschoon even als de sterretijd in sterre-uren uitgedrukt, nogtans van dezen zal verschillen, en om vergissing te voorkomen, als tijd van de ster, waartoe hij behoort, wordt opgegeven.

De ster $S_{,}$ doorloopt in 24 sterre-uren de parallel MD, fig. 41, terwijl de boog $MS_{,,}$ evenveel graden bevat, als de boog EK van den equator. Nu is het duidelijk, dat de verschillende sterren hare parallellen met onderscheiden snelheden zullen schijnen te doorloopen, dewijl het tijdsverloop tusschen twee opvolgende bovenste doorgangen, uit den aard der zaak, voor allen denzelfden duur heeft.

Wanneer men zich herinnert, dat de lengten der parallellen op aarde zich onderling verhouden in reden der cosinussen van de Breedten, waarop zij gelegen zijn, dan zal men lichtelijk inzien, dat om dezelfde reden, de lengten der parallellen aan den hemel, zich zullen verhouden als de cosinussen harer declinatiën; en aangezien de in gelijke tijden doorgeloopen ruimten tot elkander in reden zijn, als de daartoe gebezigde snelheden, zoo zal de betrekking tusschen de snelheden, waarmede twee sterren zich schijnen te bewegen, dezelfde zijn als die tusschen de cosinussen harer declinatiën.

C. HERLEIDING VAN BOGEN OF HOEKEN, DIE IN GRADEN ZIJN UITGEDRUKT, TOT TIJD, EN OMGEKEERD.

De veranderingen van den uurhoek eener ster zijn, ingevolge het boven gezegde, evenredig met de gelijktijdige veranderingen van den boog des equators, die schijnbaar door het snijpunt van haren declinatie-cirkel en den equator is doorloopen, zoodat de uurhoek, uitgedrukt in uren, zich zal verhouden tot den overeenkomstigen boog van den equator, uitgedrukt in graden, als het tijdsverloop tusschen twee opvolgende bovenste doorgangen van dezelfde ster, tot den omtrek des equators, d. i. als 24 : 360, of als 1 : 15.

Bijaldien men dus van een hoek of boog, die in graden gegeven is, het aantal sterre-uren wenscht te kennen, dat tot het doorloopen daarvan, onder de meergenoemde omstandigheden benoodigd zou zijn, dan zal de bewerking zich bepalen tot een deeling door 15, terwijl men de overschietende graden, met 4 vermenigvuldigd, bij het quotient der minuten voegt, en evenzoo met de overschietende minuten handelt.

Voorbeeld. Men vraagt 30°15′45″ tot tijd te brengen.

$$15 \frac{30^{\circ}15'45''}{2^{u}\ 1^{m}\ 3^{s}}.$$

Voorbeeld. Men vraagt 102°26′51″ tot tijd te herleiden.

$$102^{\circ} = \frac{102}{15} = 6^{u} + \frac{12 \times 60}{15} = 6^{u} + 12 \times 4^{m} = 6^{u}48^{m}$$

$$26' = \frac{26}{15} = 1^{m} + \frac{11 \times 60}{15} = 1^{m} + 11 \times 4^{s} = \quad 1^{m}44^{s}$$

$$51'' = \frac{51}{15} = \ldots\ldots\ldots \quad 3^{s},4$$

$$102^{\circ}26'51'' = \ldots\ldots\ldots \quad 6^{u}49^{m}47^{s},4.$$

Verlangt men omgekeerd uren, enz. tot graden, enz. te brengen, dan vermenigvuldigt men de uren met 15, deelt de onderdeelen zoo mogelijk door 4, om ze tot een naast hooger deel te brengen en vermenigvuldigt de rest der deeling met 15.

Voorbeeld. Men vraagt 16ᵘ22ᵐ40ˢ in graden uit te drukken.

$$16^{u} = 16 \times 15 \quad \ldots\ldots = 240^{\circ}$$

$$22^{m} = \frac{22 \times 15}{60} = \frac{22}{4} = 5^{\circ} + 2 \times 15 = \quad 5^{\circ}30'$$

$$40^{s} = \frac{40 \times 15}{60} = \frac{40}{4} = \ldots\ldots \quad 10'$$

$$16^{u}22^{m}40^{s} = \ldots\ldots\ldots \quad 245^{\circ}40'.$$

Voorbeeld. Men vraagt $0^u 21^m 42^s,6$ tot graden te herleiden.

$$0^u = \ldots\ldots\ldots \quad 0^0$$
$$21^m = \frac{21}{4} = 5^\circ + 1 \times 15 \ . = 5^0 15'$$
$$42^s,6 = \frac{42,6}{4} = 10' + 2,6 \times 15 = 10'39''$$
$$0^u 21^m 42^s,6 = \ldots\ldots \quad 5^0 25' 39''.$$

f. DE PARALLAKTISCHE DRIEHOEK.

Wij hebben de stelsels van coördinaten leeren kennen, waardoor de stand van een hemellicht met betrekking tot den equator van den hemel en tot den horizon eener plaats wordt uitgedrukt, en zullen nu, door de beschouwing van het verband, dat er tusschen beide bestaat, een algemeen denkbeeld kunnen verkrijgen van de wijze, waarop de Breedte en Lengte van de waarnemingsplaats kan worden afgeleid.

Zij daartoe, in fig. 43, S het hemellicht, P de pool des hemels en T het zenith van den waarnemer, dan vormen de groote cirkels, welke door die punten getrokken zijn, een bolvormigen driehoek TPS, die den naam draagt van parallaktischen driehoek of pooldriehoek.

De elementen van dezen driehoek zijn:

	TP =	het complement der Breedte;	
	TS =	de topsafstand	van de ster S;
	PS =	de poolsafstand	„ „ „ „
hoek	TPS =	de uurhoek	„ „ „ „
„	PTS =	het azimuth	„ „ „ „
„	TSP =	de parallaktische hoek	„ „ „ „

Zijn nu drie dezer grootheden gegeven, dan kunnen de drie overige, met behulp van de formules der bolvormige trigonometrie, worden opgelost. Is alzoo de hoogte van eenig hemellicht rechtstreeks gemeten, zijn de sterre-tijd der waarneming en de rechte opklimming van het hemellicht, dus ook zijn uurhoek en is bovendien zijne declinatie bekend, dan kan, met behulp van deze gegevens, het complement der Breedte, en mitsdien ook de Breedte zelve, lichtelijk berekend worden.

Zij, om aan te toonen op welke wijze de Lengte gevonden kan worden, S, fig. 44, een ster in het vlak van den meridiaan $PACBP$, dan is dit vlak tevens dat van haren declinatie-cirkel, en op alle plaatsen A, C, D, B, zal men haar op oneindigen afstand, en dus volgens de onderling evenwijdige richtingen AS, CS, enz. zien. In dezen stand is de ster voor al die plaatsen in den meridiaan; haar uurhoek is nul, doch de hoogte verschilt. Immers is zij voor C in het toppunt; voor A is haar topsafstand $= SAT$, Zuidelijk van het toppunt T; voor B daarentegen is de topsafstand $= T'BS$, Noordelijk van het toppunt T', als P

de Noord-pool is. De plaats *H*, gelegen in den meridiaan *PH*, heeft op dit oogenblik de ster *S* nog niet in den meridiaan, en klaarblijkelijk zal de Oostelijke uurhoek van de ster *S* voor die plaats gemeten worden door den hoek *EPH*. Door de aswenteling der aarde in de richting van den pijl, komt de meridiaan *PH*, na zooveel tijds als door den genoemden uurhoek wordt aangeduid, in den declinatie-cirkel der ster te liggen; de uurhoek wordt nul, terwijl voor de plaatsen *A*, *C*, *D*, *B* enz. de ster een Westelijken uurhoek krijgt, waarvan het bedrag weder door den hoek *EPH* wordt aangegeven. Hieruit volgt, dat de hoek tusschen de beide meridianen of het Lengteverschil van de plaatsen *A*, *C*, *D*, *B* enz. en *H* gelijk is aan het verschil der uurhoeken van dezelfde ster op hetzelfde oogenblik. Drukt men die uurhoeken in tijd uit, dan is het lengteverschil ook in tijd uitgedrukt..

Heeft men dus b. v. gegeven, in den parallaktischen driehoek, de hoogte en de declinatie van eenig hemellicht, benevens de Breedte van de waarnemingsplaats, dan kan daaruit de uurhoek van het hemellicht en dus ook de sterretijd berekend worden.

Kent men nu op dat zelfde oogenblik, op deze of gene wijze, den sterre-tijd te Greenwich, dan zal het verschil dier tijden, de gevraagde Lengte zijn, in tijd uitgedrukt. Bezit men een uurwerk, dat volkomen regelmatig loopt, en b. v. steeds 12^u aanwijst, als zekere ster door den meridiaan gaat, dan zal dit uurwerk op ieder ander oogenblik de uurhoek van die ster, in tijd uitgedrukt, aanwijzen. Is dit uurwerk nu aldus te Greenwich geregeld, dan zal het, ofschoon naar een andere plaats overgebracht, toch voortgaan met den uurhoek der ster voor Greenwich aan te wijzen, en men zal dus inzien, dat de uurhoek eener ster te Greenwich als bekend mag gesteld worden.

Wij zullen in het vervolg, bij de behandeling der verschillende vraagstukken, herhaaldelijk op het gebruik van den parallaktischen driehoek terugkomen.

II. NADERE BESCHOUWING DER HEMELLICHTEN.

Zooals vroeger gezegd is, worden de lichtende punten, die wij bij helder weder, des nachts en gedurende de schemering, aan den hemel zien, met den algemeenen naam van sterren bestempeld.

Vaste sterren noemt men de hemellichten, die, bij hunne schijnbare dagelijksche beweging, hunne betrekkelijke standen behouden.

Eenige hemellichamen bezitten een eigen beweging, afgescheiden van de dagelijksche, en worden daarom van de eerstgenoemde onderscheiden, door de benaming van dwaalsterren of planeten, een benaming, die uit de oudste tijden afkomstig is. De genoemde eigen beweging is,

zooals wij later zien zullen, schijnbaar onregelmatig. Onder de planeten wordt ook de aarde gerangschikt, dewijl zij zich om de zon beweegt, die tot de vaste sterren behoort. De maan behoort tot een afzonderlijke soort van hemellichten, die wachters of satellieten genoemd worden.

De kometen of staartsterren, aldus genoemd, omdat zij zich dikwijls met een meer of minder helderen staart vertoonen, zijn hemellichten, die ook een schijnbaar onregelmatigen loop door de sterren hebben en slechts korten tijd zichtbaar zijn. Zij zijn van geen waarde voor de plaatsbepaling van het schip.

a. VASTE STERREN.

1°. Merkwaardige eigenschappen.

De vaste sterren bezitten de volgende merkwaardige eigenschappen:

1°. zij komen iederen dag in dezelfde streek van den horizon op en gaan ook in dezelfde streek onder;

2°. zij bereiken in den meridiaan altijd dezelfde hoogte;

3°. zij vertoonen zich, zelfs door de sterkste kijkers, niet vergroot;

4°. zij geven een meer flikkerend licht af, dan de planeten.

2°. Klassificatie.

De sterren worden onderscheiden, naar hare meerdere of mindere helderheid, in sterren der 1ste, 2de, 3de grootte enz. Voor het bloote oog zijn, bij zeer heldere luchtgesteldheid, de sterren der 6de grootte nog zichtbaar.

In de rangschikking van een ster tot deze of die klasse bestaat iets willekeurigs. ARGELANDER telde naar de door hem aangenomen schaal: dat

20	sterren	tot	de	1ste	grootte	
65	„	„	„	2de	„	
190	„	„	„	3de	„	
425	„	„	„	4de	„	enz.

behooren.

3°. Sterrebeelden.

Eenige sterren, tot een groep vereenigd, vormen een sterrebeeld. Deze worden onderling door benamingen onderscheiden, die somtijds overeenkomen met hunne gedaante, als de kroon, de driehoek, enz.; doch in de meeste gevallen zijn zij geheel willekeurig gekozen, en in geenen deele aan de gedaante van het beeld ontleend; de laatst bedoelde hebben meestal betrekking op de godenleer der oude Grieken.

De figuren, die men zich in de verschillende groepen kan verbeelden,

door de sterren, door middel van lijnen, in gedachte met elkander te vereenigen, bieden een middel aan, waardoor men zich aan den hemel kan oriënteeren, voornamelijk in de gevallen, waarin men niet voorzien is, noch gebruik kan maken van de tot opsporing van sterren bestaande astronomische werktuigen, zooals op zee altoos het geval is.

De helderste sterren in elk beeld worden aangegeven door de eerste letters van het Grieksche alphabeth, en zoo opvolgend. Zoo wordt b. v. de meest heldere ster in het sterrebeeld Orion, aangeduid door α Orionis, de daarop volgende door β, en evenzoo met de andere sterrebeelden. Ook maakt men daartoe gebruik van de nummers, waarmede zij in beroemde sterrelijsten gemerkt zijn, of wel van bijzondere teekens.

Sommige heldere sterren hebben bovendien nog haren eigen naam; b. v. Altair of α van den Arend, Arcturus of α van Bootes, Regulus of α van den Leeuw, en anderen.

4°. Afstand tot de aarde.

De afstand van een vaste ster tot de aarde is zoo groot, dat de grootste maat, waarvan wij ons zouden kunnen bedienen, daarbij vergeleken, nul wordt. Immers, als men in aanmerking neemt, dat, zooals wij later zien zullen, de aarde een kring om de zon beschrijft, waarvan de middellijn gemiddeld 41364658 D. G. mijlen bedraagt, en dat deze middellijn uit de dichtst bijzijnde vaste ster, onder de gunstigste omstandigheid gezien, tot dus verre een nauwelijks waarneembare grootheid blijkt te zijn, dan zal men het boven gezegde gewis niet als overdreven aanmerken.

Een der tot heden bekende, meest nabij zijnde sterren, is de ster van BESSEL (n°. 61 in het sterrebeeld de Zwaan). Volgens de laatste berekeningen van PETERS en ARGELANDER, bedraagt de afstand van die ster tot de aarde 550900 maal den afstand, waarop de zon van ons verwijderd is.

Bij de jaarlijksche parallaxis der vaste sterren, komen wij op dit onderwerp terug.

5°. Eigen beweging.

Ten onrechte werd aan sommige vaste sterren dien naam gegeven. Nauwkeurige waarnemingen toch, van lateren tijd, hebben een plaatsverandering doen kennen, waar men meende, dat die niet bestond. Men noemt haar de eigen beweging der vaste sterren; zij heeft een verandering in rechte-opklimming en in declinatie ten gevolge. Het bedrag daarvan is echter uiterst gering, en daar het toch altijd opgenomen wordt in de plaatsen der sterren, zooals die in de zeevaartkundige almanakken worden opgegeven, zoo kan het hier geheel buiten beschouwing blijven.

6°. Sterrekaarten.

Afbeeldingen van een grooter of kleiner deel van den sterrenhemel, op een plat vlak, dragen den naam van sterrekaarten. Zij hebben hoofdzakelijk ten doel, een aanschouwelijke voorstelling te geven van de sterren en sterrebeelden, naar hunne betrekkelijke helderheid en ligging. Door de vergelijking van een dergelijke afbeelding met den hemel, zal men dan in staat zijn de sterren, die men wil waarnemen, aan den hemel op te sporen.

Naar aanleiding van hetgeen vroeger omtrent kaarten is opgemerkt, zal het duidelijk zijn, dat men, tot het ontwerpen van hemelkaarten, bij voorkeur van de stereographisch-polaire projectie gebruik maakt. In plaat IV is het Noordelijk en Zuidelijk halfrond van den hemel naar genoemde projectie afgebeeld.

Een gewone platte kaart van den gordel des hemels, die zich ter wederzijde tot op 50° afstands van den equator uitstrekt, plaat V, zal echter voor het doel, dat wij er mede beoogen, het opzoeken namelijk van eenige in de nabijheid van den equator gelegen, voorname sterren, insgelijks goede diensten kunnen bewijzen.

Ten einde de eerstgenoemde kaart te ontwerpen, beschrijven wij met een willekeurigen straal twee cirkels, die den equator voor elk der beide halfronden zullen voorstellen. Het middelpunt van den eenen cirkel is dan de Noord-, dat van den anderen de Zuid-pool des hemels. Met behulp van de vroeger aangewezen constructie, bepalen wij de projectiën van de stralen der parallelcirkels, die op 10°, 20°, 30°, enz. afstands van den equator liggen, en duiden de snijpunten van die parallellen met de horizontale lijn der kaart, die den declinatie-cirkel der zonnestanden voorstelt, door de overeenkomstige getallen 10, 20, 30, enz. aan. Wij zullen later, bij de beschouwing van de zon, de beteekenis van het woord zonnestanden leeren kennen.

Twee parallellen, op 100° afstands van de polen gelegen, begrenzen de afbeelding van elk halfrond, zijn in 36 gelijke deelen verdeeld, waarvan dus elke verdeeling 10° bevat, en dienen om de rechte-opklimmingen der hemellichten te kunnen aflezen, die in de kaart voorkomen. Een andere verdeeling in 24 gelijke deelen, waarvan dus elk 1^u bevat is aan de vroeger genoemde toegevoegd.

Het aanvangspunt van de telling der bedoelde verdeeling is het punt ♈ in elk halfrond der kaart. Zooals wij later zullen zien, ligt dit punt in den declinatie-cirkel, die den vroeger genoemden loodrecht snijdt, en mitsdien in de kaart, op den straal, die loodrecht staat op de projectie van den declinatie-cirkel der zonnestanden.

Om een hemellicht naar zijne rechte-opklimming en declinatie of poolsafstand in de kaart te brengen, heeft men slechts in het halfrond, dat

met de declinatie gelijknamig is, het punt der verdeeling van den buitensten cirkel, dat met de gegeven rechte-opklimming overeenstemt, met het middelpunt te vereenigen, en vervolgens op den hierdoor verkregen straal een afstand van het genoemde middelpunt af te passen, die gelijk is aan den gegeven poolsafstand van het hemellicht. De verdeeling van de horizontale lijn der kaart levert ons, voor het afpassen van den bedoelden afstand, de noodige gegevens.

Tot het aflezen van de declinatie en de rechte-opklimming van een hemellicht, dat in de kaart gegeven is, gaat men uit den aard der zaak op omgekeerde wijze te werk.

In plaat V is de horizontale lijn, die midden over de kaart loopt, de equator. Hij is in 24 gelijke deelen verdeeld, die alzoo elk 1ᵘ voorstellen, en om de kaart niet te veel te vullen, onder en boven in den rand zijn aangegeven.

De rechte-opklimming van een hemellicht kan nu worden afgepast, op dezelfde wijze als de Lengte bij de gewone zeekaarten. Het nulpunt wordt aangewezen, door den declinatie-cirkel van het punt ♈, dewijl, zooals wij weten, van dit punt de rechte-opklimming geteld wordt. Aan de rechterzijde der kaart, is nog een klein gedeelte afgebeeld van hetgeen aan de linkerzijde voorkomt, opdat men van de aansluiting een behoorlijk overzicht zoude hebben.

De opstaande randen der kaart hebben de verdeeling, waarop de Noorder- en Zuider-declinatie, even als bij de zeekaarten de Breedte, wordt afgelezen. Van den equator te beginnen, zijn 50 gelijke deelen naar boven en naar onder afgezet. Elk dezer deelen is 1°, waarvan er 15 in de vroeger genoemde verdeeling van den equator gaan. Het afpassen van de declinatie van een hemellicht zal dus wel geen moeilijkheid opleveren.

Herinnert men zich hetgeen vroeger omtrent de platte kaarten is medegedeeld, dan zal men inzien, dat de sterrebeelden, die tamelijk ver van den equator in de kaart voorkomen, eenigszins in de lengte zullen uitgerekt zijn, doch dat die, welke in de nabijheid van den equator liggen, hunne gedaante vrij goed zullen hebben behouden. De misvorming der voorstelling is echter niet zoo groot, dat daardoor verwarring zou kunnen ontstaan.

Het gebruik van de sterrekaarten tot het opzoeken of leeren kennen van de voorname sterren en sterrebeelden is eenvoudig. Men houdt b. v. in het Noordelijk halfrond de kaart zoodanig vóór zich, als overeenkomt met den stand aan den hemel van een bekend sterrebeeld, b. v. Orion, de Groote Beer, enz. en volgt de richtingslijnen, die in de kaart staan aangegeven. Met eenige aandacht, zal men zich dan spoedig met de namen en plaatsen der voornaamste sterren gemeenzaam kunnen maken. In het Zuidelijk halfrond kan men zich, tot het genoemde doel, met vrucht van het sterrebeeld het Zuider-Kruis bedienen.

7°. Alignementen.

De richtingslijnen, waarvan zoo even, tot opsporing eener ster sprake was, en die de richtingen zijn van de bogen aan den hemel, welke van die ster, naar andere bekende sterren loopen, zoodat drie of meer sterren ongeveer in of nabij een boog vallen, dragen den naam van alignementen. Ten einde een denkbeeld te geven van de wijze, waarop de betrekkelijke plaats van een hemellicht met behulp van de alignementen gevonden kan worden, zullen wij deze methode op eenige der voornaamste sterren toepassen. Het spreekt echter van zelf, dat hierbij aan geen stellige voorschriften moet gedacht worden; ieder waarnemer, die voorzien is van een sterrekaart, kan die richtingen kiezen, welke hem het meest geschikt voorkomen.

a. De Noordelijke sterrebeelden.

Ursa major of de Groote Beer (Beerin).

Dit sterrebeeld, hoofdzakelijk samengesteld uit zeven heldere sterren, is een der meest kennelijke aan den hemel. De sterren α of Dubhe, β of Mirak, γ en δ, vormen een regelmatigen vierhoek, die eenigermate op een trapezium gelijkt, waarvan $\alpha\delta$ en $\beta\gamma$ de evenwijdige zijden zijn.

De drie andere sterren ε, ζ en η maken een boog uit, die de staart van den Beer genoemd wordt. Dikwijls wordt dit sterrebeeld de Wagen genoemd. In dat geval heet de genoemde boog de dissel.

De ster δ is van de derde, de overige zijn van de tweede grootte.

Ursa minor of de Kleine Beer (Beerin).

Vereenigt men β en α van den Grooten Beer in gedachte door een rechte lijn, en verlengt men die in de richting van β naar α, dan ontmoet zij een heldere ster van de tweede grootte, α van den Kleinen Beer of de Poolster genoemd. Zij schijnt ons toe ongeveer even ver van α van den Grooten Beer verwijderd te zijn, als deze laatste van η in hetzelfde sterrebeeld. De nabijheid van de Noord-pool des hemels heeft haar den naam van Poolster doen erlangen.

De Kleine Beer bestaat, behalve uit de genoemde Poolster, uit nog zes andere sterren, welke een figuur met elkander maken, die in omgekeerden stand, vrij wel met die van den Grooten Beer overeenkomt. De sterren β, γ, ζ en η vormen den vierhoek, ε, δ en α den boog of den staart van den Kleinen Beer; α en β zijn van de tweede grootte, de overige zijn kleiner.

Draco of de Draak.

De staart van den Draak ligt tusschen den Grooten en den Kleinen Beer; het lichaam buigt zich om den Kleinen Beer heen, de kop, gevormd door vier sterren, β, γ, ζ en ν, in de gedaante eener ruit, is naar het sterrebeeld Hercules gericht.

α van den Draak is een ster van de tweede grootte; zij ligt tusschen de middelste ster ζ in den staart van den Grooten Beer en de sterren β en γ van den Kleinen Beer, op de lijn, die door δ van den Grooten Beer en α van de Lier of Wega kan gedacht worden.

Cepheus

wordt hoofdzakelijk gevormd door drie sterren van de derde grootte, α, β en γ, die in een boog liggen, waarvan β van Cassiopeia als het middelpunt kan aangemerkt worden.

De lijn, die men zich door α van den Grooten Beer en de Poolster kan denken, ontmoet, verlengd zijnde, γ van Cepheus; de verlengde lijn, die door α en β van Cassiopeia gaat, ontmoet α van Cepheus.

x Cassiopeia.

Dit sterrebeeld wordt gevormd door vijf sterren, α, β, γ, δ en ε, en heeft de gedaante van een W. De drie eerstgenoemde sterren zijn van de tweede, de overige van de derde grootte.

Een rechte lijn, door δ van den Grooten Beer en de Poolster getrokken, ontmoet, verlengd zijnde, β van Cassiopeia. Deze ster ligt ongeveer zoo ver van de Poolster, als deze laatste van δ van den Grooten Beer.

x Pegasus of het Groote Paard

bestaat hoofdzakelijk uit drie sterren, α, β en γ van de tweede grootte, die met α van Andromeda een trapezium vormen.

De verlengde lijn, gaande door α van den Grooten Beer en de Poolster, ontmoet α en β van Pegasus; α van Andromeda en γ van Pegasus liggen in de verlengde lijn, door de Poolster en β van Cassiopeia getrokken.

De sterren α, β en γ dragen de bijzondere namen van Markab, Schcat en Algenib.

x Andromeda.

Dit sterrebeeld wordt hoofdzakelijk gevormd door drie sterren, α, β en γ, die nagenoeg in een rechte lijn staan; α is van de tweede, β en γ zijn van de derde grootte.

De diagonaal, getrokken door α van Pegasus en α van Andromeda, gaat, verlengd zijnde, dicht langs β van Andromeda en door γ van het laatstgenoemde beeld.

Perseus.

Dit sterrebeeld staat Oostwaarts van Andromeda, en wordt hoofdzakelijk gevormd door de sterren α of Algenib van de tweede, δ en γ van de derde grootte.

De boog, dien men zich door α, β en γ van Andromeda kan denken, treft, verlengd zijnde, α van Pegasus.

β van Perseus of Algol ligt in het verlengde van de lijn, die door α en β van Andromeda getrokken kan worden; zij is een veranderlijke ster.

De zeven sterren, α, β en γ van Pegasus, α, β en γ van Andromeda en α van Perseus, vormen een figuur, die tamelijk veel overeenkomst heeft met die van den Grooten Beer; de afmetingen van het laatstgenoemde sterrebeeld zijn echter veel kleiner.

Auriga of de Wagenman.

De rechte lijn, door de Poolster naar β van Orion of Rigel getrokken, gaat door een ster van de eerste grootte, die ongeveer even ver als β van Perseus van de Poolster verwijderd is. Zij is de ster α van dit beeld, draagt den naam van Capella, en is voorts kenbaar aan drie sterren, ε, η en ζ, die in hare nabijheid staan en een gelijkbeenigen driehoek vormen.

Boötes.

De kennelijkste ster in dit beeld is α van Boötes of Arcturus. Zij ligt op het boogvormig verlengde van den staart van den Grooten Beer, is van de eerste grootte en heeft een roodachtig licht.

Corona Borealis of de Noorder Kroon

bestaat uit de sterren θ, β, α, γ, δ en ε, die een halven cirkel vormen. De ster α of Gemma is een ster van de tweede grootte. Zij ligt iets dichter bij η van den Grooten Beer, dan Arcturus.

Lyra of de Lier.

Van dit sterrebeeld is de ster α of Wega de voornaamste. Zij is van de eerste grootte en ligt in de verlengde lijn, die door β van den Grooten Beer en α van den Draak kan gedacht worden.

Cygnus of de Zwaan.

Dit sterrebeeld staat ongeveer daar ter plaatse, waar de Melkweg zich in twee armen splitst, en is kenbaar aan vijf sterren, die een kruis vormen.

α of **Deneb** is de Noordelijkste ster van dit beeld; hare grootte is tusschen de eerste en tweede.

Aquila of de Arend

wordt hoofdzakelijk gevormd door drie sterren γ, α en β, die op een rechte lijn staan. De ster α of **Altair** is tusschen de eerste en tweede grootte en de voornaamste van dit beeld. Zij ligt ongeveer op de verlengde lijn, die door α van den Draak en α van de Lier of **Wega** gaat.

Ophiuchus of de Slangendrager.

De verlengde lijn, door de Poolster en β van den Draak getrokken, ontmoet een ster van de tweede grootte, α van den Slangendrager of **Rasalhague** geheeten. Genoemde ster, de voornaamste van dit beeld, ligt even ver van de Poolster als **Altair**.

b. De Zodiakaal-sterrebeelden.

Ariës of de Ram.

Dit sterrebeeld staat onder Perseus en Andromeda en is kenbaar aan drie sterren, α, β en γ, die een stomphoekigen driehoek vormen.

α van den Ram of **Alnati** is een ster van de tweede grootte. Zij ligt in de verlengde lijn, door de Poolster en γ van Andromeda getrokken, ongeveer midden tusschen α van den Stier of **Aldebaran** en γ van Pegasus of **Algenib**.

Taurus of de Stier

wordt gevormd door twee sterregroepen, namelijk de **Hyaden** α, γ, δ, ε in de gedaante van een V, en de **Plejaden** of het Zeven-gesternte.

α van den Stier of **Aldebaran** is de voornaamste ster van dit beeld. Zij is van de eerste grootte, heeft een kennelijk roode kleur en is gelegen in de doorsnede van de lijnen, die door γ van Orion en de Plejaden en door α van den Grooten Beer en **Capella** kunnen gedacht worden.

Gemini of de Tweelingen.

De rechte lijn door β en α van Orion getrokken, ontmoet, verlengd zijnde, de ster α van dit beeld of **Castor**. Iets Oostelijker staat β van

de Tweelingen of Pollux. Beide sterren worden tusschen de eerste en tweede grootte gerangschikt.

Leo of de Leeuw.

Dit sterrebeeld bestaat hoofdzakelijk uit vier sterren, α of Regulus tusschen de eerste en tweede grootte, β of Denebola en γ van de tweede, en δ tusschen de tweede en derde grootte; zij vormen een trapezium.

Regulus ligt in de verlengde lijn, die door den Gordel van Orion en Procyon gedacht kan worden. De rechte lijn, die door de Poolster en γ van den Grooten Beer gaat, verlengd zijnde, treft Denebola; zij ligt op denzelfden afstand van γ van den Grooten Beer, als deze van de Poolster.

Virgo of de Maagd.

De voornaamste ster in dit beeld is α of Spica, van de eerste grootte. Zij ligt op het verlengde van de lijn, die door de Poolster en ζ van den Grooten Beer kan gedacht worden.

Spica, Arcturus en Denebola vormen een gelijkzijdigen driehoek.

Libra of de Weegschaal.

De voornaamste ster van dit beeld is α of Riffa. Zij ligt midden tusschen Spica of α van de Maagd en Antares of α van den Schorpioen, en ongeveer op de verlengde lijn, die door α van den Grooten Beer en Arcturus kan gedacht worden. Riffa is tusschen de tweede en derde grootte. β Librae is van de tweede grootte.

Scorpius of de Schorpioen.

De kennelijke ster α van dit beeld, of Antares, is tusschen de eerste en tweede grootte en heeft een roodachtig licht.

Arcturus, Wega en Antares vormen een gelijkbeenigen driehoek, waarvan de laatstgenoemde ster de top is.

Aquarius of de Waterman.

Dit beeld staat onder Pegasus. De ster α van den Waterman ligt ongeveer in de verlengde diagonaal, door α van Pegasus en α van Andromeda getrokken. Zij is van de derde grootte.

c. *De Zuidelijke sterrebeelden.*

Cetus of de Walvisch.

De rechte lijn, door β van Andromeda of Mirach en α van den Ram

getrokken, gaat, verlengd zijnde, dicht langs een ster tusschen de tweede en derde grootte, Menkar geheeten. Zij is de ster α van Cetus; de ster ο van dit beeld, of Mira, is een merkwaardige veranderlijke ster.

Fluvius Eridanus of de Vloed Eridanus.

Dit sterrebeeld begint in de ster β, die in de nabijheid staat van β van Orion of Rigel; het neemt een Zuidelijke richting en eindigt in een ster van de eerste grootte, α of Achernar geheeten.

Orion.

Dit sterrebeeld bestaat hoofdzakelijk uit vier sterren, die een tamelijk regelmatigen vierhoek vormen. Het zijn de ster α of Betelgeuze van de eerste, γ of Bellatrix van de tweede, β of Rigel van de eerste, en κ van de derde grootte. Binnen dezen vierhoek, treft men nog aan drie zeer kennelijke sterren, δ, ε en ζ van de tweede grootte, die op een rechte lijn liggen en de Gordel van Orion of de Drie Koningen geheeten worden.

De Poolster, α van den Wagenman of Capella, en Rigel staan, zooals gezegd is, op een rechte lijn.

Canis Major of de Groote Hond.

De rechte lijn door de drie sterren van den Gordel van Orion getrokken, ontmoet, verlengd zijnde, de ster α van dit beeld, of Sirius. Zij is de helderste der vaste sterren, en staat op denzelfden afstand van ζ van Orion, als deze laatste van α van den Stier of Aldebaran.

Canis Minor of de Kleine Hond.

De merkwaardigste ster in dit beeld is α of Procyon, van de eerste grootte. Een rechte lijn, door de Poolster en midden tusschen Castor en Pollux getrokken, gaat door Procyon.

Hydra of de Waterslang.

Dit beeld strekt zich uit over een groot deel des hemels. De voornaamste ster is α of Alphard, van de tweede grootte; zij ligt iets bezuiden het verlengde der rechte lijn, getrokken door Aldebaran en Procyon, en staat even ver van de laatstgenoemde ster, als α van Orion.

Argo Navis of het schip Argo.

De voornaamste ster is α of Canopus van de eerste grootte. Zij staat ongeveer recht Zuid van Sirius.

Het Zuider-Kruis.

wordt gevormd door de sterren α van de eerste, β en γ van de tweede en δ van de derde grootte. De verlengde lijn $\gamma\alpha$ gaat dicht langs de Zuid-pool.

Centaurus.

In dit sterrebeeld zijn de sterren α en β van de eerste grootte. Zij liggen ongeveer op één lijn met β en δ van het Zuider-Kruis.

Piscis Australis of de Zuider Visch

staat onder den Waterman; de voornaamste ster is α of Fomalhaut tusschen de eerste en tweede grootte. Deze ster ligt ongeveer in de lijn, die door de Poolster en α van Pegasus of Markab gedacht kan worden.

b. DE ZON.

Onder de hemellichamen, die zich door een eigene, zij het dan ook schijnbare beweging al dadelijk doen kennen, neemt de zon de voornaamste plaats in. Zij toch is de hoofdbron van licht en warmte, geeft ons de afwisseling van dag en nacht, bepaalt de opvolging der jaargetijden, bestuurt de verspreiding van den plantengroei over de oppervlakte van den aardbol, regelt de bedrijven van het dagelijksch leven en verdient alzoo in alle opzichten, dat wij haar, vóór alle andere hemellichamen, tot het voorwerp van een meer aandachtige beschouwing maken.

1°. Bijzondere verschijnselen.

Wij merken bij de zon de volgende bijzonderheden op:

a. Zij komt iederen dag in een andere streek van den horizon op, dan den vorigen dag, en gaat ook in een andere streek onder. Omstreeks 21 Maart komt zij op in het Oosten en gaat zij onder in het Westen; daarna vallen de punten, waarop zij opkomt en ondergaat, dagelijks Noordelijker. Omstreeks 21 Juni bereikt de zon hare grootste amplitudo, nadert vervolgens weder meer tot het Oosten en Westen, om tegen den 21sten September weder in die streken op en onder te gaan, gaat dan Zuidelijker, bereikt omstreeks 21 December hare grootste Zuidelijke amplitudo, keert zich dan weder naar het Noorden en volbrengt zoo ieder jaar dezelfde schommeling.

b. Zij schijnt voortdurend tot de Oostelijk van haar gelegen sterren te naderen. Zien wij heden de zon eenigen tijd vóór een ster ondergaan, dan zal de afstand tusschen de zon en de ster van dag tot dag verminderen en eindelijk zoo gering worden, dat de ster uit dien hoofde onzicht-

baar wordt. Omgekeerd, bijaldien wij heden een ster eenigen tijd vóór de zon zien opkomen, dan zal die tijd van dag tot dag grooter worden. De zon verwijdert zich dus van de Westelijk van haar gelegen sterren, op dezelfde wijze als zij tot de Oostelijke nadert, en men bespeurt, dat zij in het algemeen van het W naar het O door de sterren loopt, terwijl zij de sterren, die in hare nabijheid komen, door haren glans onzichtbaar maakt.

c. De sterren in de nabijheid van den equator, die des zomers, op zeker uur, in het Zuiden gezien worden, zijn in den herfst, op hetzelfde uur van den nacht, nabij haren ondergang; terwijl de sterren, die men op dat uur des zomers ziet opkomen, in den herfst in het Zuiden gezien worden. Dit nu met elk driemaandelijksch tijdsverloop het geval zijnde, zoo volgt hieruit, in verband met hetgeen onder *b* is opgemerkt, dat de rechte-opklimming der zon dagelijks toeneemt. Bij eenig nadenken zal men inzien, dat deze toeneming in drie maanden ongeveer 90° en in één jaar 360° of 24^u moet bedragen, of ongeveer 1° of 4^m tijds per dag.

d. De declinatie van de zon is aan dagelijksche veranderingen onderhevig. Men ontwaart dit aan de veranderlijke hoogte van de zon op den middag. In Maart is de declinatie nul; wordt dan Noordelijk en groeit aan tot omstreeks 21 Juni, wanneer zij ongeveer 23°28′ bedraagt; neemt daarna af, tot dat zij tegen 21 September weder nul wordt, om vervolgens Zuidelijk van den equator weder toe te nemen en omstreeks 21 December hare grootste Zuidelijke waarde van ongeveer 23°28′ te bereiken, waarna zij tot den 21sten Maart kleiner en kleiner en eindelijk nul wordt.

e. Uit de gestadige verandering in declinatie, waarvan onder *d* gesproken is, zal het duidelijk zijn, dat de zon zich met iederen dag langs een anderen parallel-cirkel zal schijnen te bewegen, en bij gevolg dat ook de doorgang door den meridiaan met iederen dag in een ander punt zal plaats hebben. Dat punt zal aanhoudend Noordelijker van den equator klimmen van 21 Maart tot 21 Juni, dan weder den equator naderen tot 21 September, vervolgens tot 21 December zich Zuidelijk van den equator verwijderen. en eindelijk tot 21 Maart aan dezelfde zijde tot dezen naderen. Op plaatsen waarvan de Noorder-Breedte grooter dan 23°28′ is zal men dien ten gevolge van 21 December tot 21 Juni, een toenemen van de meridiaans-hoogte, gedurende het overige van het jaar een afnemen daarvan opmerken. Op plaatsen waarvan de Zuider-Breedte grooter dan 23°28′ is, zal juist het omgekeerde plaats hebben.

2°. Ecliptica, helling, voorname punten der ecliptica.

Heeft men elken dag van het jaar de rechte-opklimming en de declinatie van de zon bepaald — wij zullen later zien op welke wijze zulks kan geschieden —, dan kunnen die coördinaten op een hemelglobe afgezet en kan daardoor de stand van de zon aan den hemel voor elken dag worden

aangegeven. Laat in fig. 45, PP' de as des hemels, EQ de equator, en Z, Z', Z'', enz. de bedoelde standen der zon zijn, dan zal men, die punten door een kromme lijn vereenigende, de baan verkrijgen, die de zon in een jaar door hare eigen beweging om de aarde schijnt af te leggen, of liever, men zal de doorsnede hebben afgeteekend van de globe met het vlak, waarin zich de lijn beweegt, die men zich kan voorstellen, als de middelpunten van de zon en de aarde te vereenigen. De aldus gevormde lijn ♈Z♋♎♑♈ is een groote cirkel en draagt den naam van ecliptica of zonsweg. Het vlak van dien cirkel helt op dat van den equator onder een hoek van ongeveer 23°28′, welke hoek de helling van de ecliptica wordt geheeten. De helling, gemeten door de grootst mogelijke declinatie der zon, is niet standvastig, maar, zooals wij later zien zullen, aan kleine veranderingen onderhevig.

De punten ♈ Ariës en ♎ Libra, waarin de ecliptica den equator snijdt, en de declinatie der zon mitsdien nul is, heeten de equinoxen of nachteveningspunten; die, waarin de zon hare grootste Noordelijke en Zuidelijke declinatie heeft, ♋ Cancer en ♑ Capricornus de solstitiën of zonnestanden. De genoemde punten verdeelen den omtrek der ecliptica in vier gelijke deelen en bij gevolg den tijd, door de zon tot het doorloopen daarvan benoodigd, in vier tijdperken, die den naam van seizoenen dragen.

3°. Gevolgen van de schijnbare beweging van de zon om de aarde.

Ten einde de gevolgen van de samengestelde beweging der zon, de dagelijksche in de richting van den pijl y, de jaarlijksche in die van y', fig. 46, meer van nabij te beschouwen, denken wij ons de zon in het teeken ♑. In dit punt heeft zij de grootste Zuidelijke declinatie en beschrijft door hare dagelijksche beweging de parallel a, de steenbokskeerkring geheeten. Door de verplaatsing in de richting y', zal de zon van lieverlede van declinatie veranderen en mitsdien, terwijl zij dagelijks een kring in de richting van den pijl y doorloopt, een soort van spiraal b schijnen te beschrijven, waarvan de gangen zich van elkander verwijderen, naar gelang de zon den equator nadert.

Is de zon omstreeks 21 Maart in het punt ♈ gekomen, dan wordt hare declinatie nul en verandert vervolgens van naam. Dien dag beschrijft zij een spiraalgang, die nagenoeg met den equator samenvalt, zoodat de dag even lang duurt als de nacht. Deze gelijkheid is uitgedrukt in de benaming van het punt ♈ (equinox) en vindt hare verklaring, in hetgeen vroeger met betrekking tot een ster in den equator gezegd is.

Benoorden den equator vervolgt de zon hare spiraalvormige beweging; doch nu begint de verandering in declinatie dagelijks kleiner te worden;

de gangen der spiralen vallen dichter bij elkander en omstreeks 21 Juni in het punt ♋ gekomen, beschrijft de zon weder een parallel, de **kreeftskeerkring** geheeten. In dit punt heeft zij hare grootste Noordelijke declinatie bereikt en verandert, even als in het punt ♑, gedurende eenigen tijd weinig of niet van declinatie, doordien de richting van hare jaarlijksche beweging evenwijdig loopt met die der dagelijksche. De naam van solstitiën of zonnestanden, aan de punten ♑ en ♋ gegeven, laat zich uit het opgemerkte gevoegelijk verklaren.

Van het punt ♋ uit, begint de zon den equator weder te naderen; de gangen der spiralen verwijderen zich van elkander, en omstreeks 21 September in het punt ♎ gekomen, wordt hare declinatie andermaal nul, verandert van naam en herhaalt zich het verschijnsel, dat dag en nacht even lang duren. Vervolgens wordt de declinatie Zuidelijk en bereikt hare grootste waarde, als de zon omstreeks 21 December zich weder in het punt ♑ bevindt.

De beweging van de zon in de ecliptica heeft ten gevolge:

a. de regelmatig terugkeerende afwisseling in den duur van dag en nacht;

b. de geregelde opvolging der jaargetijden of seizoenen.

a. De regelmatig terugkeerende afwisseling in den duur van dag en nacht.

Brengt men de beschouwingen, betreffende de dag- en nachtbogen der sterren, in verband met de verandering in declinatie, die de zon ondergaat, dan is het niet moeilijk daaruit af te leiden: dat voor plaatsen, op N.Breedte gelegen, van 21 Maart te beginnen, de duur van den dag dien van den nacht zal overtreffen, en steeds meer, tot dat op 21 Juni, als de zon een der solstitiën bereikt heeft, de dag het langst zal zijn; dat vervolgens de dag, met aanhoudend afnemende verschillen, de nacht zal blijven overtreffen, tot hij omstreeks 21 September, daaraan gelijk wordt; dat de dag dan een duur zal verkrijgen, die steeds meer door dien van den nacht wordt overtroffen, tot dat de zon omstreeks 21 December de tweede der solstitiën bereikt heeft en de dag het kortst is. Van dat oogenblik zal de duur van den dag weder toenemen, totdat hij omstreeks 21 Maart weder aan den nacht gelijk wordt. Voor plaatsen op Z.Breedte gelegen, zal daarentegen het toe en afnemen der dagen plaats hebben, met een half jaar verschil van de bovengenoemde tijdstippen.

Het licht, dat wij van de zon ontvangen, ofschoon zij onder den horizon is, draagt den naam van **schemering**. Deze ontstaat eensdeels uit de buiging, die de zonnestralen door den dampkring ondergaan, anderdeels uit de terugkaatsing der lichtstralen, door de boven ons gelegen luchtlagen, die bij de opkomst der zon eer, bij den ondergang langer dan wij, door de zon verlicht worden. Door beide oorzaken wordt de

dag verlengd, de nacht daarentegen verkort; doch voor alle plaatsen openbaart zich het verschijnsel niet op dezelfde wijze.

Men zal lichtelijk inzien, dat niet alleen de meerdere of mindere hoogte der zon onder den horizon van invloed is op de helderheid van de schemering, maar ook, dat de toestand van den dampkring, de hoeveelheid waterdamp, die hij bevat, en dus zijne meerdere of mindere doorschijnendheid, daarop grooten invloed uitoefenen. Bij een helderen dampkring eindigt na zonsondergang de schemering, als de zon 15° tot 17° onder den horizon staat. Bij de opkomst der zon eindigt in dat geval de nacht en breekt, zooals men het noemt, de dag aan.

De duur van de schemering hangt af van de Breedte der waarnemingsplaats en van de declinatie der zon. Is men b. v. op 0° Breedte, tijdens de equinox, dan verandert de hoogte van de zon 15° in den tijd van 1^u, en heeft zij mitsdien 1^u 4^m noodig om 16° van haren loodrechten nachtboog onder den horizon te doorloopen. Bevindt men zich daarentegen op hoogere Breedte, dan valt de nachtboog schuiner ten opzichte van den horizon, en heeft de zon bovendien een groote declinatie, dan beweegt zij zich minder snel in hare parallel, dan bij een kleine; zij zal dus meer tijd behoeven om een hoogteverandering van 16° onder de kim te ondergaan, dan op de vroeger genoemde plaats. Somtijds gebeurt het, zooals op onze Breedte des zomers, dat de zon geen 16° onder de kim bereikt; in dat geval duurt de schemering den geheelen nacht, van den ondergang der zon tot hare opkomst voort.

Is men in de gelegenheid den horizon te overzien, dan kan men na het ondergaan der zon ontwaren, dat er een punt is, waarin het schemerlicht het sterkst is. Dit punt ligt recht boven de zon, of in den vertikaal-cirkel, die door de zon kan gedacht worden. Wegens de verplaatsing van de zon in haren nachtboog, zal het genoemde punt de zon volgen, en zich op Noorder-Breedte Noordwaarts, op Zuider-Breedte daarentegen Zuidwaarts verplaatsen, doch bij de rechte spheer stilstaan.

De omvangrijkste waarnemingen omtrent de schemering zijn van SCHMIDT, Directeur der sterrewacht te Athene, terwijl waarnemingen onder de tropen in zee werden gedaan door BEHRMANN.

b. De geregelde opvolging der jaargetijden of seizoenen.

De equinoxen en solstitiën verdeelen, zooals vroeger gezegd is, den tijd door de zon benoodigd om de ecliptica te doorloopen in vier tijdperken, die bijna, doch niet geheel, gelijk van duur zijn, omdat de beweging der zon, zooals wij later zien zullen, niet volkomen eenparig is.

Men noemt het tijdvak, waarin de zon het gedeelte der ecliptica doorloopt, dat begrepen is tusschen de punten ♈ en ♋, de lente; het volgende tijdvak, begrepen tusschen hare doorgangen door de punten ♋ en

♎, den **zomer**; dat tusschen hare komst in de punten ♎ en ♑, den **herfst**; en eindelijk den **winter**, den tijd, dien zij behoeft om van het laatstgenoemde punt in ♈ te komen. Gaat men nu na het vroeger medegedeelde, omtrent de afwisseling in den duur van dag en nacht, in verband met de verschillende standen der zon in de bedoelde vier kwadranten, dan zal men daaruit de verklaring erlangen van de wijze, waarop de verschillende plaatsen der aarde, gedurende het geheele jaar, verwarmd worden. Immers zal, naar gelang de zon zich gedurende langer tijd boven den horizon bevindt, de gelegenheid tot verwarming der oppervlakte van land of zee grooter, die tot afkoeling, gedurende den nacht, kleiner zijn. Voegt men daarbij, dat naarmate de zonnestralen onder grooter hoeken, mits in het eerste kwadrant gelegen, de oppervlakte van de aarde treffen, deze een grootere hoeveelheid warmte zal opvangen, dan blijkt daaruit, dat de lente en de zomer, voor een waarnemer op Noorder-Breedte, warmer moeten zijn dan de herfst en de winter; dat de zomer warmer moet zijn dan de lente, dewijl de aarde, gedurende het laatstgenoemde tijdvak, reeds zekere hoeveelheid warmte heeft ontvangen; dat de herfst minder koud moet zijn dan de winter, omdat de aarde nog gedurende eenigen tijd de warmte behoudt, die zij tijdens de lente en den zomer heeft ontvangen.

Voor een waarnemer op Zuider-Breedte daarentegen, heeft juist het omgekeerde plaats; voor hem zal, hetgeen wij herfst en winter noemen, lente en zomer zijn.

4°. De zodiak of dierenriem.

De ecliptica wordt behalve in graden, ook nog verdeeld in twaalf gelijke bogen, **hemelteekens** geheeten, welke teekens de bijzondere namen dragen van de sterrebeelden, die oudtijds daarmede overeenstemden. Die namen en teekens zijn: ♈ **Ariës**, de Ram; ♉ **Taurus**, de Stier; ♊ **Gemini**, de Tweelingen; ♋ **Cancer**, de Kreeft; ♌ **Leo**, de Leeuw; ♍ **Virgo**, de Maagd; ♎ **Libra**, de Weegschaal; ♏ **Scorpius**, de Schorpioen; ♐ **Sagittarius**, de Schutter; ♑ **Capricornus**, de Steenbok; ♒ **Aquarius**, de Waterman en ♓ **Pisces**, de Visschen. De teekens zijn meestal de voorstellingen der beelden, die zij hebben aangewezen, zooals ♈ twee ramshorens, ♉ de kop van een stier, enz. De sterrebeelden van dien naam liggen in een gordel, die zich ter wederzijde van de ecliptica, ongeveer over 8° of 10° Breedte uitstrekt, en **zodiak** of **dierenriem** genoemd wordt. De teekens zijn thans reeds meer dan 30° van de sterrebeelden verwijderd, zoodat het teeken van den Ram, met het sterrebeeld der Visschen overeenstemt. Later komen wij op de bedoelde verplaatsing terug, en zullen daarvan alsdan de reden doen kennen.

5°. Breedte en Lengte der hemellichten.

De ecliptica kan, als groote cirkel van de spheer, en omdat zij, zooals wij in het vervolg zullen zien, een bijna geheel onveranderlijken stand aan den hemel heeft, zeer geschikt dienen tot grondslag van een stelsel van coördinaten om de plaatsen der hemellichamen uit te drukken. Die coördinaten dragen de namen van Breedte en Lengte.

Onder de Breedte eener ster S verstaat men den afstand SB, fig. 47, dier ster, tot de ecliptica, gerekend langs den grooten cirkel, breedtecirkel genoemd, dien men zich door de polen pp' der ecliptica en de genoemde ster kan denken. Zij wordt onderscheiden in Noorder- en Zuider-Breedte, naar gelang de ster in het halfrond der spheer gelegen is, dat de Noord- of Zuid-pool der ecliptica bevat.

De afstand ΥB van het punt Υ tot het snijpunt van den genoemden cirkel en de ecliptica, geteld naar de opvolging der teekens, is de Lengte van de ster S.

Met behulp van de rechte-opklimming en de declinatie van een hemellicht, kunnen altijd zijne Breedte en Lengte berekend worden. In den bolvormigen driehoek pPS is namelijk:

$pP =$ helling der ecliptica,
$PZ = 90^\circ \mp$ declinatie,
$pS = 90^\circ \mp$ Breedte,
hoek $pPS = 90^\circ + Æ$; $270^\circ - Æ$; $Æ - 270^\circ$
naar gelang de $Æ < 90^\circ$, tusschen 90° en 270°, of $> 270^\circ$ is;
hoek $SpP = 90^\circ -$ Lengte; Lengte $- 90^\circ$ of $450^\circ -$ Lengte;

uit welke vijf grootheden altijd twee kunnen gevonden worden, als de drie andere gegeven zijn, en dus ook de Breedte en Lengte kunnen worden afgeleid, als behalve de rechte-opklimming en de declinatie van het hemellicht, de helling van de ecliptica bekend is. Het gemakkelijkst geschiedt deze herleiding, door een grooten cirkel te brengen door Υ en S. Wij hebben dan door de verbinding van de bolvormige driehoeken $S\Upsilon A$ en $S\Upsilon B$, als wij den hoek $B\Upsilon A$ of de helling der ecliptica φ, en den hoek $S\Upsilon A$, φ' noemen:

$$\text{tang}\,\varphi' = \frac{\text{tang}\, SA}{\sin \Upsilon A} = \frac{\text{tang declin.}}{\sin Æ}.$$

$$\text{tang}\,\Upsilon B = \text{tang Lengte} = \frac{\cos(\varphi' - \varphi)}{\cos\varphi'}\,\text{tang}\,\Upsilon A$$
$$= \frac{\cos(\varphi' - \varphi)}{\cos\varphi'}\,\text{tang}\,Æ,$$

$$\text{tang}\,SB = \text{tang Breedte} = \text{tang}(\varphi' - \varphi)\sin\Upsilon B$$
$$= \text{tang}(\varphi' - \varphi)\sin\text{Lengte}.$$

De zon, die zich in het vlak der ecliptica beweegt, heeft een Breedte

die behoudens kleine storingen, ten gevolge van de werking van de maan en de planeten, gelijk nul is; hare Lengte wordt gevonden uit den bolvormigen driehoek $Z\gamma M$, met behulp van de formules;

$$\text{tang}\, \gamma Z = \frac{\text{tang}\, \gamma M}{\cos \varphi}$$

of

$$\text{tang Lengte} = \frac{\text{tang}\, \mathit{AR}}{\text{cos helling}},$$

$$\cos \gamma Z = \cos ZM \cos \gamma M,$$

dat is:

$$\text{cos Lengte} = \text{cos declin.} \cos \mathit{AR}.$$

6°. De eigenlijke zonsbaan.

Bepaalt men, voor eenige achtereenvolgende dagen, de declinatie en de rechte-opklimming der zon, door middel van rechtstreeksche waarnemingen, en berekent men daaruit de Lengte der zon op die tijdstippen, dan ontwaart men, dat de bogen der ecliptica, die zij van den eenen tot den volgenden dag schijnt te doorloopen, het geheele jaar door, niet even groot zijn, maar de grootste en kleinste waarden bereiken omstreeks 1 Januari en 1 Juli.

Meet men te gelijker tijd de middellijn der zonneschijf, dan ontdekt men een verandering in hare grootte. Onder de benaming van schijnbare middellijn van een hemellicht wordt verstaan de hoek, waaronder men de middellijn van dat lichaam ziet. Gewoonlijk laat men het woord schijnbaar weg, en spreekt men van de middellijn der zon of maan, al bedoelt men de schijnbare middellijnen. Bepaalt men dien hoek nauwkeurig, dan vindt men voor hare

grootste waarde in Januari		32′36″,4
kleinste „	„ Juli	31′32″,0

en aangezien een werkelijke verandering van de middellijn, in verband met den regelmatigen terugkeer van het verschijnsel, niet waarschijnlijk is, zoo moet de genoemde verandering voor schijnbaar gehouden en toegeschreven worden aan de verschillende afstanden, waarop wij ons in den loop van een jaar van de zon bevinden.

Zij A, fig. 48, het middelpunt van de aarde, ZB de straal van de zon, $AZ = a$ haar afstand van de aarde en hoek $ZAB = d$ de hoek, waaronder die straal gezien wordt, dan is in den rechthoekigen driehoek ZAB:

$$\sin d = \frac{ZB}{AZ}$$

of, omdat d klein is:

$$d = \frac{ZB}{AZ \sin 1''} = \frac{ZB}{a \sin 1''}.$$

Voor een halve middellijn d', behoorende bij een anderen afstand, b. v. a', zal men eveneens vinden:

$$d' = \frac{ZB}{a' \sin 1''}$$

waaruit volgt:

$$d : d' = \frac{1}{a} : \frac{1}{a'}$$

of, in woorden: de halve middellijnen zijn omgekeerd evenredig met de afstanden van het hemellicht tot den waarnemer.

Kon men nu deze middellijnen met de uiterste nauwkeurigheid meten en had men b. v. op den eersten dag van elke maand gevonden:

de Lengte der zon α, α', α'', enz.
hare halve middellijn d, d', d'', enz.

dan zou men de baan, die de zon om de aarde schijnt af te leggen, kunnen construeeren, door van het punt ♈, fig. 49 en 50, te beginnen, bogen ♈D, ♈C, enz. $= \alpha$, α', enz. uit te zetten; de punten D, C, enz. met het punt O, dat het middelpunt van de aarde voorstelt, te vereenigen, en op de aldus verkregen richtingen, stukken $Oc = R$, $Ob = R'$, enz. te nemen, evenredig met de afstanden van de zon tot de aarde op die tijdstippen.

Tot het bepalen van die stukken, zou men voor R een willekeurige lengte moeten aannemen, die alsdan bij een halve middelijn d zou behooren; voor den volgenden afstand R' zou men dan, naar aanleiding van het vroeger gevondene hebben:

$$R' = R \frac{d}{d'}$$

en evenzoo met de overige.

Had men op deze wijze de verschillende standen, die de zon in den loop van een jaar schijnt in te nemen, naar een zeer groote schaal afgezet, dan zou men ontwaren:

1°. dat zij gelegen zijn op den omtrek van een ellips, waarvan de aarde een der brandpunten inneemt; welke eigenschap een bijzonder geval is van de wet, naar haren ontdekker, de eerste wet van KEPPLER genoemd, volgens welke alle planeten ellipsen om de zon beschrijven;

2°. dat de punten A en P, gelegen op de uiteinden der groote as van

de genoemde ellips, de standen van de zon zijn, waarin hare halve middellijn de kleinste en grootste waarde bezit, en de zon dus op haren grootsten en kleinsten afstand van de aarde is;

3°. dat de snelheid, waarmede de zon in de bedoelde ellips van plaats verwisselt, het grootst is, als zij zich op den kleinsten afstand van de aarde bevindt. Deze omstandigheid is een gevolg van de wet, die de zon bij hare schijnbare beweging om de aarde volgt. Volgens deze wet, naar haren ontdekker, de tweede wet van KEPPLER genoemd, doorloopt de lijn, die de middelpunten van de zon en de aarde vereenigt, de voerstraal geheeten, in gelijke tijden gelijke perken, en dus zijn de perken, die de voerstraal doorloopt, evenredig met de daartoe bestede tijden. De vlakke inhouden van de sectoren OAB en OPG zijn, onder de boven genoemde voorwaarde, mitsdien aan elkander gelijk.

De punten A en P heeten het apogeum en het perigeum; de lijn AP of de groote as der ellips heet de lijn der apsiden. Men zij bij de beschouwing van fig. 49 indachtig, dat daarin de baan van de zon gedeeltelijk op haren kant wordt gezien. De groote cirkel ♋A'♑P' is de ecliptica van de spheer, de ellips $PcbA$ de eigenlijke baan van de zon.

In fig. 50 is deze baan in het vlak der ecliptica voorgesteld, zooals zij van boven zoude gezien worden. De excentriciteit van de baan is voor de duidelijkheid zeer overdreven, en hierbij houde men dus in het oog, hetgeen bij de meeste figuren van de sterrekunde behoort te geschieden, dat namelijk de juiste verhoudingen van afstanden, enz. niet bewaard zijn gebleven, maar aan de duidelijkheid der voorstelling worden opgeofferd. Deze opmerking is van gewicht, als men zich voor verkeerde gevolgtrekkingen wenscht te vrijwaren.

7°. De elementen van de loopbaan der zon.

Men verstaat door de elementen van de loopbaan der zon, de grootheden, door welke die loopbaan in gedaante, grootte en ligging wordt uitgedrukt, en waardoor de plaats, die de zon op een gegeven oogenblik in hare baan inneemt, met juistheid kan bepaald worden.

Hebben wij vroeger gezien, dat de loopbaan van de zon een ellips is, gelegen in het vlak der ecliptica, dan wordt

1° de gedaante der loopbaan nader bepaald door de excentriciteit;
2° de grootte „ „ „ „ „ „ lengte der groote as;
3° de ligging „ „ „ „ „ „ ligging der groote as in de ecliptica, of de Lengte van het perigeum;
4° de plaats van de zon nader bepaald door de epoche, zijnde de plaats van de zon op een gegeven tijdstip in hare baan, in verband met haren omloopstijd.

a. De excentriciteit.

Noemt men D de grootste, d de kleinste waarde van den hoek, waaronder de halve middellijn van de zon, in de verschillende punten van hare elliptische loopbaan PMA, fig. 53, uit F gezien wordt, dan is

$$\frac{AF}{PF}=\frac{D}{d}.$$

Voorts is, als de betrekking tusschen CF en AC of de excentriciteit gelijk e gesteld en de halve groote as van de ellips, die de zonsbaan voorstelt, a genoemd wordt,

$$AF=AC+CF=a+ae$$

en

$$PF=AC-CF=a-ae$$

en dus

$$\frac{a+ae}{a-ae}=\frac{D}{d}=\frac{1+e}{1-e},$$

waaruit

$$e=\frac{D-d}{D+d}.$$

Substitueeren wij in deze uitdrukking voor D en d de vroeger opgegeven grootste en kleinste waarden, dan verkrijgen wij:

$$e=\frac{64'',4}{64'8'',4}=0,0167=\frac{1}{60}.$$

Indien men de middellijn der zon dus met de grootste nauwkeurigheid meten kon, dan zou men uit hare verandering alleen reeds kunnen vinden, hoe groot de excentriciteit der loopbaan is.

Het geringe bedrag van de excentriciteit toont aan, zooals wij trouwens ook uit het geringe verschil tusschen D en d konden opmaken, dat de ellips door de zon beschreven, weinig van een cirkel afwijkt.

Het bedrag van de excentriciteit der zonsbaan is niet standvastig, maar ondergaat in den loop der eeuwen een kleine verandering. Volgens LEVERRIER wordt de bedoelde excentriciteit voor het jaar 1850 + T, waarin T een aantal jaren van 365,25 dagen beteekent, voorgesteld door de formule:

$$e=0,01677106-0,0000042445\,T-0,0000000000137\,T^2,$$

of, in secunden boogs uitgedrukt:

$$e=3459'',28-0'',08755\,T-0'',00000282\,T^2.$$

Wij zullen later zien hoe de excentriciteit nauwkeurig bepaald is.

b. De lengte der halve groote as.

Zij op zeker oogenblik de afstand van de zon tot de aarde $FZ = r$, fig. 51, uit sterrekundige waarnemingen afgeleid, en de Lengte van de zon α', terwijl de Lengte van het perigeum, die wij later zullen leeren bepalen, α is, dan heeft men:

$$\text{hoek } PFZ = \alpha' - \alpha$$

en naar de polaire vergelijking der ellips:

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos(\alpha' - \alpha)}$$

dus

$$a = \frac{r(1 + e \cos(\alpha' - \alpha))}{(1 - e^2)}.$$

De middelbare afstand a van de zon tot de aarde bedraagt, ongeveer 20000000 mijlen. Deze lengte heeft nog een onzekerheid van 200000 mijlen.

Het verschil tusschen den grootsten en den kleinsten afstand bedraagt $2a \times e = \pm 670000$ mijlen. (1).

c. De Lengte van perigeum.

Volgens LEVERRIER, is die Lengte, voor den aanvang van het jaar $1850 + T$,

$$\alpha = 280^\circ 21' 21'',5 + 61'',6995\, T + 0'',0001823\, T^2.$$

Wij zullen later zien hoe die grootheid bepaald is.

d. Plaatsbepaling van de zon in hare baan.

Ware anomalie.

Zij $ABMP$, fig. 52, de elliptische loopbaan der zon, F het brandpunt, waarin de aarde zich bevindt, M de zon, $FM = r$ de voerstraal en hoek $PFM = v$ de hoek, dien de voerstraal met de groote as maakt, dan zal de plaats van de zon in hare baan volkomen bepaald zijn, als wij den hoek v of de ware anomalie kennen, dewijl wij alsdan de Lengte der zon, zijnde de hoek $\vee FM > 180^\circ$, benevens r kunnen be-

---

(1) De waarden uit de laatste bepalingen der horizontale parallaxis van de zon verkregen, slingeren tusschen 8'',75 en 8'',95. De beste waarde is waarschijnlijk 8'',86; daarmede stemt overeen een afstand $= \dfrac{2700}{\pi \times 8{,}86 \sin 1''} = 20008045$ mijlen. Met 8'',86358 zou juist 20000000 mijlen overeenkomen, dat wij dus als een rond getal voor het gemak aannemen.

rekenen. De Lengte van de zon zal namelijk gelijk zijn aan die van het perigeum, vermeerderd met den hoek v, terwijl de lengte van den voerstraal r gegeven wordt door de formule:

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos v},$$

als a de halve groote as en e de excentriciteit der ellips beteekent.

De ware anomalie v wordt afgeleid uit de middelbare door tusschenkomst van een hulphoek die de excentrische anomalie genoemd wordt; wij zullen deze nu achtereenvolgens beschouwen.

e. Middelbare anomalie.

Verbeelden wij ons om de aarde F als middelpunt, fig. 53, een cirkel met een willekeurigen straal beschreven, en daarin een denkbeeldig lichaam M', dat met eenparige snelheid den cirkel doorloopt in denzelfden tijd T, waarin de zon M hare elliptische baan beschrijft. Gaan nu beide lichamen te gelijker tijd door de groote as in de punten P en P', dan zal door de grootere snelheid van M in dit gedeelte van hare baan, M' achterblijven, doch in de punten A en A' zullen die lichamen de as weder gelijktijdig snijden. De hoek $M'FP = m$, draagt den naam van middelbare anomalie.

Zijn er t dagen sedert den doorgang door P' verloopen, dan heeft men ter bepaling van m de evenredigheid:

$$360^0 : m = T : t$$

waaruit

$$m = \frac{t}{T}\, 360^0.$$

De middelbare anomalie voor een gegeven oogenblik is alzoo bekend, als gegeven zijn:

1°. de omloopstijd;

2°. het oogenblik van doorgang door het perigeum;

3°. de tijd, die er sedert dien doorgang tot het gegeven oogenblik verloopen is.

f. Excentrische anomalie.

Beschrijven wij uit C, met de halve groote as der ellips als straal, een cirkel, en verlengen wij den ordinaat DM, fig. 53, tot hij dien cirkel in een punt E snijdt, dan is, als wij den straal EC trekken, hoek $ECP = u$ de excentrische anomalie.

g. Betrekking tusschen de ware en de excentrische anomalie.

Deelen wij den hoek ECP, fig. 53, door de lijn CZ middendoor,

dan verdeelt die lijn, zoo als wij weten, de overstaande zijde ED in twee stukken, die evenredig zijn met de aangrenzende zijden, zoodat wij hebben

$$ZD : DC = ZE : CE$$

dus ook

$$ZD + ZE : DC + CE = ZD : DC$$

of

$$DE : DC + CE = CD \text{ tang } \tfrac{1}{2} u : DC$$

waaruit

$$\text{tang } \tfrac{1}{2} u = \frac{DE}{DC + CE}.$$

Op dezelfde wijze vindt men:

$$\text{tang } \tfrac{1}{2} v = \frac{DM}{FD + FM}.$$

Deze waarden geven ons weder de evenredigheid:

$$\text{tang } \tfrac{1}{2} v : \text{tang } \tfrac{1}{2} u = \frac{DM}{FD + FM} : \frac{DE}{DC + CE}.$$

Nu zijn, volgens de bekende eigenschap der ellips, de ordinaten DE en DM tot elkander in reden als a en b, indien wij a en b de halve groote en kleine as der ellips noemen. Stellen wij nog $CD = x$, en $MD = y$, dan is

$$FD = CD - CF = x - ea$$

en

$$\begin{aligned}
FM &= \sqrt{\{FD^2 + DM^2\}} = \sqrt{\{x^2 - 2aex + e^2a^2 + y^2\}} \\
&= \sqrt{\{x^2 - 2aex + e^2a^2 + \frac{b^2}{a^2}(a^2 - x^2)\}} \\
&= \sqrt{\{x^2 - 2aex + e^2a^2 + \frac{a^2(1 - e^2)}{a^2}(a^2 - x^2)\}} \\
&= \sqrt{\{x^2 - 2aex + e^2a^2 + a^2 - x^2 - a^2e^2 + e^2x^2\}} \\
&= \sqrt{\{a^2 - 2aex + e^2x^2\}} \\
&= a - ex.
\end{aligned}$$

Bij gevolg wordt

$$FD + FM = a - ex + x - ea = (a + x)(1 - e)$$

en

$$DC + CE = a + x,$$

welke waarden, in de bovenstaande evenredigheid gesubstitueerd, geven:

$$\text{tang } \tfrac{1}{2} v : \text{tang } \tfrac{1}{2} u = \frac{b}{(a + x)(1 - e)} : \frac{a}{(a + x)}.$$

Voorts is

$$b = a \sqrt{(1 - e^2)}$$

hetwelk gesubstitueerd, geeft:

$$\begin{aligned} \text{tang } \tfrac{1}{2} v : \text{tang } \tfrac{1}{2} u &= \frac{a \sqrt{(1 - e^2)}}{(a + x)(1 - e)} : \frac{a}{a + x} \\ &= \frac{\sqrt{(1 - e^2)}}{1 - e} : 1 \\ &= \sqrt{(1 - e^2)} : (1 - e). \end{aligned}$$

Verheffen wij deze evenredigheid tot de tweede macht, en nemen wij in aanmerking dat $(1 - e^2) = (1 + e)(1 - e)$ is, dan verkrijgen wij:

$$\text{tang}^2 \tfrac{1}{2} v : \text{tang}^2 \tfrac{1}{2} u = (1 + e) : (1 - e)$$

waaruit

$$\text{tang } \tfrac{1}{2} v = \text{tang } \tfrac{1}{2} u \sqrt{\frac{1 + e}{1 - e}}.$$

h. Betrekking tusschen de middelbare en de excentrische anomalie.

Laat, om het verband tusschen de bovenbedoelde anomaliën te zoeken, in fig. 53, CR evenwijdig aan FM' getrokken worden, dan is hoek RCP de middelbare anomalie; en in de plaats van het denkbeeldig lichaam M', laten wij dan het punt R zich met eenparige snelheid verplaatsen. Volgens de tweede wet van KEPPLER, heeft men:

$$\text{inh. } MFP : \text{inh. ellips} = \text{inh. } RCP : \text{inh. cirkel},$$

dus

$$\frac{\text{inh. } MFP}{\text{inh. } RCP} = \frac{\text{inh. ellips}}{\text{inh. cirkel}} = \frac{ab\pi}{a^2\pi} = \frac{b}{a}$$

Volgens de eigenschap der ellips, is ook

$$\frac{\text{inh. } MDP}{\text{inh. } EDP} = \frac{\text{inh. } MDF}{\text{inh. } EDF} = \frac{b}{a}$$

waaruit

$$\frac{\text{inh. } MDP + \text{inh. } MDF}{\text{inh. } EDP + \text{inh. } EDF} = \frac{b}{a}$$

of, wat hetzelfde is,

$$\frac{\text{inh. } MFP}{\text{inh. } EFP} = \frac{b}{a},$$

en dewijl wij vroeger vonden

$$\frac{\text{inh. } MFP}{\text{inh. } RCP} = \frac{b}{a}$$

zoo hebben wij

$$\text{inh. } PCR = \text{inh. } EFP$$

(I) . . . . $= \text{inh. } ECP - \text{inh. } ECF.$

Nu is

$$\begin{aligned} \text{inh. } PCR &= \tfrac{1}{2}\, a.\, PR &&= \tfrac{1}{2}\, a.\, ma = \tfrac{1}{2}\, a^2 m \\ \text{,, } ECP &= \tfrac{1}{2}\, a.\, EP &&= \tfrac{1}{2}\, a.\, ua = \tfrac{1}{2}\, a^2 u \\ \text{,, } ECF &= \tfrac{1}{2}\, ED.\, CF &&= \tfrac{1}{2}\, a.\, \sin ECD.\, ae = \tfrac{1}{2}\, a^2 e \sin u. \end{aligned}$$

Substitueeren wij deze waarden in (1), dan komt:

$$\tfrac{1}{2}\, a^2 m = \tfrac{1}{2}\, a^2 u - \tfrac{1}{2}\, a^2 e \sin u$$

of

$$m = u - e \sin u.$$

Zijn m en u in secunden uitgedrukt, dan wordt de formule:

$$m = u - \frac{e}{\sin 1''} \sin u.$$

Deze transcendentale vergelijking kan alleen door benadering, of door ontwikkeling in een reeks worden opgelost. Met behulp der hoogere wiskunde vindt men:

$$u = m + e \sin m + \frac{1.2}{e^2} \sin 2\, m \; . \; . \; . \; .$$

Voor de berekening van v heeft men nu achtereenvolgens:

m uit de formule $\quad m = \frac{t}{T}\, 360^0$

u ,, ,, ,, $\quad m = u - e \sin u$

v ,, ,, ,, $\quad \text{tang } \tfrac{1}{2}\, v = \text{tang } \tfrac{1}{2}\, u \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}$

en

r ,, ,, ,, $\quad r = \frac{a\,(1-e^2)}{1 + e \cos v}$

of

$$r = a - ex = a - ea \cos u = a\,(1 - e \cos u).$$

Kent men de Lengte van het perigeum, dan wordt de Lengte van de zon voor elk oogenblik gemakkelijk berekend naar de formule:

$$\text{Lengte zon} = \text{Lengte perigeum} + v.$$

Noemen wij het denkbeeldige lichaam R, de middelbare zon n°. 1, dan is

$$\text{Lengte middelb. zon n}^{\circ}.\ 1 = \text{Lengte perigeum} + m.$$

Gewoonlijk wordt, in plaats van het oogenblik, waarop de zon door het perigeum gaat, de plaats van de zon opgegeven op den 31sten December van eenig jaar, des nachts te 12u middelbaren tijd, of zoo als in de zonstafels van LEVERRIER den 1sten Januari te 0u, welk tijdstip de epoche genoemd wordt.

Volgens LEVERRIER, wordt die middelbare Lengte, voorgesteld door de formule:

$$\text{middelb. Lengte} = 280^{\circ}46'43'',51 + 1296027'',6784\ T + 0'',00011073\ T^2,$$

waarin T voorstelt het aantal jaren van 365,25 dagen na den middelbaren middag van den 1sten Januari 1850, Parijsche tijd. Wil men, in plaats hiervan, van den middelbaren middag van denzelfden datum te Greenwich tellen, dan moet bij den eersten term worden opgeteld, de beweging in $9^m20^s,63$, het Lengte-verschil van Greenwich met Parijs, zoodat die term dan wordt 280°47'6'',54. Overigens blijft de formule onveranderd.

Nog is, zooals men lichtelijk zal inzien,

$$\text{middelb. anomalie} = \text{Lengte middelb. zon n}^{0}.\ 1 - \text{Lengte perigeum}.$$

i. Middelpuntsvereffening.

Men verstaat door middelpuntsvereffening den hoek $MFM' = E$, fig. 53, welke hoek het verschil tusschen de ware en middelbare anomalie uitdrukt. De middelpuntsvereffening E wordt ons gegeven door de formule:

$$E = v - m;$$

of, als wij v in een reeks ontwikkelen,

$$v = m + 2\,e \sin m + \tfrac{5}{4}\,e^2 \sin 2\,m + \ldots.$$

dan komt na aftrekking,

$$E = 2\,e \sin m + \tfrac{5}{4}\,e^2 \sin 2\,m + \ldots.$$

Blijkbaar is E positief in de bovenste helft der ellips, of gedurende den tijd, waarin de zon zich van P naar A verplaatst. Wij zien namelijk uit de formule

$$m = u - e \sin u,$$

dat m kleiner is dan u, zoolang u kleiner is dan 180°, terwijl uit de formule

$$\operatorname{tang} \tfrac{1}{2}\,v = \operatorname{tang} \tfrac{1}{2}\,u \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}$$

blijkt, dat v grooter is dan u, zoolang u kleiner is dan 180°, zoodat in dit geval ook v grooter is dan m. Het omgekeerde heeft in de andere helft der ellips plaats.

Volgens LEVERRIER, is de strenge formule voor de middelpuntsvereffening:

$$E = (6918'',310 - 0'',17510\,T - 0'',00000564\,T^2)\sin m +$$
$$+ (72'',508 - 0'',00375\,T)\sin 2m +$$
$$+ (1'',054 - 0'',00008\,T)\sin 3m +$$
$$+ 0'',018 \sin 4m.$$

De toepassing van de bovenstaande beschouwingen, vindt men in het volgende hoofdstuk.

Laten wij in deze formule de termen, die met T en T^2 vermenigvuldigd zijn, weg en verwaarloozen wij de honderste deelen van secunden, dan verkrijgen wij voor het begin van 1850:

$$E = 6918'',3 \sin m + 72'',5 \sin 2m + 1'',1 \sin 3m.$$

Deze formule geeft voor de helft der loopbaan tusschen het perigeum en het apogeum een positieve middelpuntsvereffening, waarvan het maximum bereikt wordt voor een waarde van m, die niet veel van 90° verschilt; v is dan bijna 2° grooter dan m, de ware zon is dus zooveel vóór de middelbare. Voor de tweede helft der loopbaan is $m > 180°$ en $< 360°$, en is E dus negatief; zij bereikt hare grootste negatieve waarde voor $m = 360°$, de waarde, waarvoor het maximum gold. De ware anomalie v is dan altijd kleiner dan de middelbare m.

Door sterrekundige waarnemingen kan elken dag de Lengte der zon worden afgeleid. Bewoog zich de zon in een cirkel om de aarde, dan zou die beweging, ten gevolge der tweede wet van KEPPLER, ook regelmatig moeten zijn, d. i. de Lengte der zon zou alle dagen evenveel moeten toenemen, en dit zou uit de waarnemingen moeten blijken. Twee waarnemingen van de Lengte der zon zouden dan voldoende zijn om te bepalen in hoeveel tijd de zon den geheelen omloop volbrengt, en hoe groot hare lengte op elk willekeurig oogenblik is. De excentriciteit zou dan $= o$ zijn, en de Lengte van het perigeum onbepaald. Beweegt zich echter de zon in een ellips, dan moeten meerdere waarnemingen vereenigd worden, om de onbekenden te vinden. Stelt men:

de Lengte van het Peregium $= P$
de middelbare anomalie bij de eerste waarneming $= m$
de excentriciteit, tot secunden herleid $= e$
de middelbare dagelijksche beweging $= \mu$

het aantal middelbare dagen verloopen sedert de eerste waarneming $= t$, t', t'', enz. dan geven de waargenomen Lengten vergelijkingen van den vorm:

$$L = P + m + 2e \sin m + \tfrac{5}{4} e^2 \sin 2m$$
$$L' = P + m + \mu t + 2e \sin(m + \mu t) + \tfrac{5}{4} e^2 \sin 2(m + \mu t)$$
$$L'' = P + m + \mu t' + 2e \sin(m + \mu t') + \tfrac{5}{4} e^2 \sin 2(m + \mu t')$$
$$L''' = P + \text{enz.}$$

Nu zijn er in deze vergelijkingen vier onbekenden P, m, e en μ, zoodat er in het algemeen vier Lengten noodig zijn om al de elementen der zonsbaan te bepalen. Maar, door het groot aantal waarnemingen op de zon die te allen tijde gedaan zijn, kan men den omloopstijd, en dus de middelbare dagelijksche beweging μ, als bekend aannemen, waardoor maar 3 onbekenden over zijn, zoodat dan ook drie Lengten voldoende zijn om de drie overige onbekenden te vinden.

De boven opgegeven, voor 1850 geldende, getallen zijn echter door LEVERRIER niet uit drie of vier, maar uit al de zonslengten afgeleid, die sedert meer dan honderd jaar door onmiddellijke waarneming gevonden zijn, terwijl de factoren van T en T^2 theoretisch zijn bepaald.

Heeft men zulk een onbepaald aantal zonslengten te zijner beschikking, dan kan men ook gemakkelijk de Lengte van het perigeum en de excentriciteit, althans zeer benaderd, vinden. Want als men twee Lengten uitzoekt die juist een halven omloopstijd na elkander waargenomen zijn, dan verschillen die Lengten alleen dan 180° van elkander, als de eene met het perigeum, de andere met het apogeum overeenstemt. Daardoor kan men dus de Lengte van het perigeum en den tijd van doorgang door het perigeum vinden. Een vierde gedeelte van den omloopstijd later is $m = 90°$ dus $v = 90° + 2e$, of, wanneer men den volgenden term er bij opneemt $v = 90° + 2e - \frac{1}{3}e^3$; een halve omloopstijd vroeger is $v = 270° - 2e + \frac{1}{3}e^3$, en het halve verschil dezer twee Lengten geeft dus $2e - \frac{1}{3}e^3$, waaruit dan e gevonden wordt.

Men zou geneigd zijn te gelooven, dat de excentriciteit der zonsbaan zich ook liet bepalen door de middellijn der zon te meten, als zij zich in het perigeum en als zij zich in het apogeum bevindt. In de praktijk zou die methode echter onvoldoende bevonden worden, daar het verschil tusschen de beide waarden die men vinden zou, te gering is, en het zeer moeilijk is de middellijn der zon binnen enge grenzen nauwkeurig te meten.

Door die methode zou men dus slechts een benaderde waarde verkrijgen, niet nauwkeurig genoeg om er de beweging der zon mede te berekenen. Men is dus wel verplicht de excentriciteit uit de waargenomen zonslengte zelve te berekenen, zoo als boven is verklaard.

8°. Beweging van de aarde om de zon.

Wij hebben tot dus verre gesproken van de schijnbare beweging van de zon om de aarde, doch deze beweging is, even als de dagelijksche, niet anders dan een zinsbedrog. In de werkelijkheid is het de aarde, die in den tijd van een jaar om de zon loopt. Hare as is daarbij voortdurend, genoegzaam op hetzelfde punt des hemels gericht, of zoo men wil, beweegt evenwijdig aan zich zelve, hetgeen daaruit blijkt, dat de

declinatie der vaste sterren nagenoeg niet verandert. De aarde heeft bij gevolg een dubbele beweging: de eene is de jaarlijksche in een kring om de zon, de andere de dagelijksche om hare as. Tusschen beide bewegingen bestaat een zeer nauw verband, waardoor reeds voor langen tijd het vermoeden werd opgewekt, dat ook de eerstgenoemde beweging, die men bij de zon meende waar te nemen, aan de aarde moest worden toegeschreven; dat vermoeden nogtans werd eerst later, door de ontdekking van de aberratie van het licht, waarover nader, tot zekerheid gebracht.

De baan, door de aarde om de zon beschreven, ligt uit den aard der zaak in het vlak der ecliptica, en de doorsnede van de bedoelde baan met het vlak van den aardschen equator is de richting der equinoxen. Bij de verschillende standen, die de aarde ten opzichte van de zon inneemt, zal ook deze lijn van doorsnede, behoudens een kleine wijziging, steeds evenwijdig aan zich zelve blijven, en men heeft dus, fig. 54, de navolgende betrekking tusschen de geocentrische Lengte der zon ♈AZ, of de Lengte van de zon uit de aarde gezien, en de heliocentrische Lengte van de aarde ♈ZA, of de Lengte van de laatstgenoemde, zooals die uit de zon zou worden waargenomen:

helioc. Lengte aarde = geoc. Lengte zon (des gevorderd met 360° vermeerderd) — 180°.

Passen wij dit toe, als wij in plaats van de ellips ZZ_1Z_2 enz., fig. 55, door de zon beschreven, de baan der aarde willen teekenen, dan blijven de onderlinge afstanden onveranderd; doch in plaats van de geocentrische Lengten der zon ♈AZ, ♈AZ_1, ♈$AZ_2 = 180°$, enz. moeten wij de heliocentrische Lengten der aarde ♈$ZA =$ ♈$AZ - 180°$, ♈$ZA_1 =$ ♈$AZ_1 - 180°$, enz. afzetten, waardoor wij voor hare baan een ellips $AA_1A_2A_0$ verkrijgen, die volkomen overeenstemt met de eerstgenoemde.

In deze ellips is AA_0 de lijn der apsiden, het punt A heet het perihelium, het punt A_0 het aphelium.

De vroeger opgemerkte verschijnselen der zon laten zich volkomen verklaren, uit de jaarlijksche beweging der aarde. Laat hiertoe zijn, in fig. 56, Z de zon, a, a_4, a_1, a_2 enz. acht standen van de aarde in de ecliptica, en cc' de doorsnede van dat vlak met den aardbol. Is nu pp' de as van de aarde, p de Noord-pool en qq' de equator, dan zal de doorsnede bb' van de beide cirkels cc' en qq' loodrecht staan op het vlak $pqcp'q'c'$, dat, loodrecht op de ecliptica, door de as kan gedacht worden, en $cq = c'q'$ zal de maat van de helling der ecliptica zijn.

Bij de jaarlijksche beweging van de aarde, aangeduid door de richting van den pijl I, blijft de as pp' evenwijdig aan zich zelve; dit is dus ook het geval met den equator qq'; en de lijn van doorsnede bb' met de ecliptica, zijnde de richting der equinoxen, zal dus steeds op hetzelfde punt des hemels gericht zijn.

In den stand a, ziet de waarnemer, in het middelpunt der aarde geplaatst, de zon in de richting van het punt b en mitsdien in die van ♈; hare declinatie, rechte-opklimming en Lengte zijn nul; zij schijnt bij de wenteling der aarde om hare as, door de richting van den pijl i aangeduid, den equator te doorloopen. Voor het Noordelijk halfrond der aarde neemt de lente een aanvang.

Voor den waarnemer in a_0, schijnt de zon in s_0 te staan en, bij de aswenteling der aarde, de parallel s_0e te doorloopen. Hare Noorder declinatie is aangegroeid tot $s\,d_0$, hare rechte-opklimming tot bd_0 en hare Lengte tot bs_0: de laatstgenoemde coördinaten worden, zooals wij weten, geteld in denzelfden zin, als de richting, waarin de aarde om hare as draait, doch in tegengestelde richting van de schijnbare beweging des hemels.

Is de aarde in a_1 gekomen, dan valt de projectie van pp' op de lijn, die de middelpunten van zon en aarde vereenigt. De zon vertoont zich in c', heeft hare grootste Noorder declinatie $c'q'$ bereikt, en schijnt dien dag den kreefts-keerkring te beschrijven. Hare rechte opklimming bq' en Lengte bc' zijn 90°, en de zomer begint.

In den stand a_2 vertoont zich de zon in s_1, hare Noorder declinatie is afgenomen tot s_1d_1, hare rechte-opklimming en Lengte zijn echter aangegroeid tot $bq'd_1$ en $bc's_1$.

In den stand a_3, diametraal tegenover a gelegen, schijnt de zon zich in ♎ te bevinden. De declinatie is weder nul, doch de rechte-opklimming en de Lengte zijn aangegroeid tot 180°. Zij schijnt dien dag weder den equator te doorloopen en bepaalt alzoo den aanvang van den herfst.

Is de aarde in a_4, dan ziet de waarnemer in het middelpunt de zon in een richting a_4s_2; hare declinatie s_2d_2 is Zuidelijk geworden; de rechte-opklimming is aangegroeid tot $bq'b'd_2$, de Lengte tot $bc'b's_2$ en zij schijnt dien dag de parallel s_2e_1 te doorloopen.

Komt de aarde in a_5, dan heeft de zon de richting van ♑. Zij heeft hare grootste Zuider declinatie cq bereikt; hare rechte-opklimming en Lengte zijn 270°; zij beschrijft dien dag den steenboks-keerkring en de winter begint.

Heeft de aarde eindelijk den stand a_6 ingenomen, dan wordt de zon in een punt s_3 gezien. Hare declinatie is s_3d_3, hare rechte-opklimming $bq'b'qd_3$, hare Lengte $bc'b'cs_3$ en de parallel door haar beschreven s_3e_2. Verplaatst zich de aarde nu verder, dan wordt de Zuider declinatie van de zon al kleiner en kleiner, tot dat zij, als de aarde in den eersten stand a is teruggekeerd, weder nul wordt.

Op overeenkomstige wijze laten zich ook de andere verschijnselen, die de zon ons aanbiedt, uit de beweging der aarde verklaren, en wij zullen, gesteund door andere grondige bewijzen, mogen aannemen:

1°. dat de aarde om de zon een ellips beschrijft;

2°. dat haar voerstraal, volgens de tweede wet van KEPPLER, daarbij in gelijke tijden, gelijke perken doorloopt.

De grootheden, die ons voor een gegeven oogenblik de plaats van de zon hebben doen kennen, zullen ons dus ook omgekeerd in staat stellen, de plaats van de aarde in hare baan voor ieder oogenblik te bepalen. Men vergete hierbij echter niet, dat de werking, waaraan de aarde door de maan en de planeten is blootgesteld, wijzigingen in haren loop te weeg brengt; de gevonden formules zouden veel meer samengesteld worden, als men den bedoelden invloed in rekening wilde brengen. De zoogenaamde storingen hebben wij daarin dus niet begrepen.

Niettegenstaande de uitdrukking, dat de zon om de aarde loopt, gebleken is onjuist te zijn, zullen wij ons echter voor de duidelijkheid, nog meermalen daarvan bedienen, overtuigd, dat niemand haar in verkeerden zin zal opvatten.

9°. De veranderingen, die de cirkels des hemels ondergaan.

a. De praecessie.

Wanneer men, eenige jaren achtereen, de rechte-opklimming en de declinatie van de vaste sterren met groote zorgvuldigheid bepaalt, en die grootheden van dezelfde ster onderling vergelijkt, dan bespeurt men, dat bij allen, een verandering van die coördinaten plaats grijpt. Herleidt men vervolgens die grootheden tot Lengte en Breedte, dan ontwaart men bij allen — de hemellichten, die een eigen beweging hebben, buiten rekening gelaten — dat de Breedte niet of althans zeer weinig verandert, maar dat de Lengte jaarlijks met 50″,2 aangroeit.

Dit verschijnsel kan aan niets anders worden toegeschreven, dan aan een beweging van het punt ♈ in het vlak der ecliptica, waardoor dit punt zich jaarlijks 50″,236 tegen de orde der teekens, dus van het Oosten naar het Westen verplaatst, en mitsdien in den tijd van 25700 jaren, de geheele ecliptica doorloopt.

Dewijl de as van de aarde loodrecht staat op de lijn der nachteveningen, en de helling van de as nagenoeg onveranderd blijft, zoo moet ook de pool van den equator in die beweging deelen en in den genoemden tijd een kleinen cirkel om de pool der ecliptica beschrijven. Het vlak van den equator, dat wij tot dus verre als vast en onveranderlijk van ligging aanmerkten, ondergaat bij gevolg een verplaatsing; de as van de aarde, die wij aannamen, als steeds op hetzelfde punt des hemels gericht te zijn, verandert van richting; en de poolster, die thans nagenoeg in haar verlengde ligt, en daartoe nog steeds iets nadert, zal na het jaar 2095 zich meer en meer van die richting schijnen te verwijderen, en voor andere poolsterren plaats maken.

De oorzaak van de verplaatsing van het punt ♈, de praecessie genoemd, moet gezocht worden in de werking, die de zon en de maan op

de afgeplatte aarde uitoefenen. Was de aarde zuiver bolvormig, dan zou de resultante van de aantrekking dier hemellichten door haar middelpunt gaan en geen verandering in den stand der as veroorzaken. Door de afgeplatte gedaante echter, en door de helling van de as op de ecliptica, in welk vlak wij ons voor het oogenblik de zon en de maan beide denken, ontvangt de equator een neiging, om zich in het vlak der ecliptica te plaatsen.

Wij kunnen ons namelijk, fig. 57, de afgeplatte aarde voorstellen als een zuiveren bol, omgeven door een verdikking om den equator. De zon en de maan zullen, als zij ter rechterzijde van de figuur gedacht worden, het zwaartepunt *a* van de eene helft der genoemde verdikking, met minder kracht aantrekken, dan het dichter bij haar gelegen zwaartepunt *b* van de andere helft, terwijl het binnenste gedeelte, de bol, geen bijzondere werking ondervindt, dewijl wij ons hebben voor te stellen, dat het middelpunt een vast punt, en de geheele werking op dit punt aangebracht zij. Klaarblijkelijk zal de aarde aan den invloed van de grootste kracht in *b* trachten gehoor te geven, en mitsdien pogen zich met de as PP' in de richting te stellen van de lijn KK', die de polen van de ecliptica vereenigt. De groote snelheid, waarmede de aarde om hare as wentelt, wijzigt echter deze neiging in zoo verre, dat de as PP' in plaats van tot KK' te naderen, onder een nagenoeg standvastigen hoek, om de lijn KK' ronddraait.

Ziehier hoe men op elementaire wijze die werking kan verklaren.

Zij *orsq*, fig. 58, het vlak van den equator, Pp zijne as en KK' de as der ecliptica, dan is de werking van zon en maan, wanneer deze laatste ook in de ecliptica gedacht wordt, zoodanig, dat als er geen wenteling om de as Pp plaats had, de helling van het vlak *orsq* op dat van de ecliptica zou verminderen en eindelijk nul worden. Wanneer wij het middelpunt A als een vast punt aanmerken, en door PI een kleine kracht voorstellen, werkende in eenig punt P der as, dan stelt $AP \times PI$ het moment der kracht, of anders gezegd, het koppel voor, om den equator met de ecliptica te doen samenvallen. Brengen wij door de beide assen KK' en Pp een vlak, dat den equator volgens de lijn *qr* snijdt, dan is *q* het hoogste en *r* het laagste punt ten opzichte van de ecliptica. De momentkracht deelt aan de punten van den halven cirkel *ors* een rijzende, aan de punten van den halven cirkel *sqo* een dalende beweging mede.

Stellen wij nu, om een aanschouwelijke voorstelling te verkrijgen, dat de werking van het koppel begint op het oogenblik, waarop eenig massief punt *m* van de schijf door *o* gaat, dan zal dit punt gaande weg een toenemende snelheid naar boven bekomen. Een ander punt *m'*, gelegen in het tweede kwadrant, ontvangt mede een opwaartsche beweging, doch niet in die mate als *m*; want als het in *s* gekomen is, zal de ontvangen

opwaartsche beweging moeten afnemen. Een punt *m''*, in het derde kwadrant *sq*, verkrijgt een toenemende nederwaartsche snelheid, terwijl ten slotte een punt *m'''*, gelegen in het vierde kwadrant, insgelijks een nederwaartsche beweging ontvangt, die echter weder geringer is dan die van *m''*. Naarmate dus de punten van den halven cirkel *ors*, door *s* gaan, deelen zij aan het gedeelte *rsq* de ontvangen opwaartsche beweging mede, terwijl te gelijker tijd de punten van den halven cirkel *sqo*, door het punt *o* gaande, aan het gedeelte *qor* een nederwaartsche snelheid geven.

De aanvankelijke uitwerking van het koppel is, dat het vlak van de schijf om de lijn *os* kantelt; maar deze aanvankelijke lijn van kanteling verandert spoedig van richting, komt in den stand *o's'*, door het eerste en derde kwadrant, en wanneer ongeveer het vierde gedeelte eener omwenteling volbracht en dus de halve cirkel *ors* in den stand *rsq* gekomen is, zal ook de lijn van kanteling in den stand *rq* zijn gekomen. Het vlak van de schijf kantelt dan om deze lijn, terwijl het punt P der as reeds in P' gekomen is. Gedurende het volgende vierde gedeelte eener omwenteling, gaat de lijn van kanteling in het vierde en tweede kwadrant over, en komt eindelijk, nadat zeer nabij een halve omwenteling volbracht is, weder in den stand *so*. Het punt P van de as is dan in P'' gekomen, zoodat hoek $KAP'' =$ hoek KAP is. Gedurende deze halve omwenteling, doorloopt alzoo de lijn van kanteling twee rechte hoeken, doch niet met een gelijkmatige beweging; deze is bij het begin en einde sneller, op de helft langzamer, terwijl de genoemde lijn in de nabijheid van *qr* langer blijft dan op eenige andere plaats.

Door de werking van het koppel om de lijn *os*, verbonden met de wentelende beweging om de as Pp, wordt het vlak van de schijf bij *s* opgelicht, bij *o* neergedrukt, en na een halve wenteling van het vlak, heeft het punt P zich verplaatst, alsof het een cirkelboogje om de as KK had doorloopen. Het laagste punt *r* van den equator is daardoor in *r'* gekomen, het hoogste daarentegen in *q'*. Deze punten hebben zich in een richting bewogen, tegengesteld aan die van de wentelende beweging om Pp, doch de helling van het vlak van den equator op het vlak der ecliptica, d. i. de hoek KAP is daarbij dezelfde gebleven. In deze beweging zal dus ook het punt ♈ gedeeld en zich tot in ♈' verplaatst hebben, en het genoemde punt is mitsdien langs de ecliptica eenigszins teruggegaan. Bij de volgende halve wenteling heeft klaarblijkelijk hetzelfde plaats, en men zal inzien, dat hierdoor de gemiddelde teruggang der evennachtspunten moet ontstaan (1).

Wij hebben voor de eenvoudigheid vooronderstelt, dat de as Pp, bij

(1) Men vergelijke hiermede de verhandeling over de beweging van een tol om zijn punt, door Dr. F. J. STAMKART, uitgegeven door het genootschap: Een onvermoeide arbeid komt alles te boven, te Amsterdam.

het begin der werking één oogenblik volkomen stil stond, waarvan het gevolg zou zijn, dat zij verder bij herhaling oogenblikken van stilstand zou bekomen. Deze vooronderstelling was echter niet noodzakelijk. Is de as *Pp* geen enkel oogenblik in rust, dan is zulks ook later niet het geval, en beschrijft zij om de as *KK*, met een niet volkomen gelijkmatige snelheid een kegelvlak.

De kegelvormige beweging van de as der aarde, wordt in het klein voorgesteld door de beweging van een tol, als hij een hellenden-stand heeft; alleen met dit onderscheid, dat de kegelvormige beweging van de as *AP*, fig. 59, in dezelfde richting geschiedt als de wentelende beweging van den tol om zijne as. Het voetpunt *a* van de loodlijn *Pa* beschrijft een boogje *aa'* in de richting tegen zon, wanneer de tol tegen zon draait. Is de wenteling daarentegen met zon, dan doorloopt ook de as een kegelvlak om de lijn *AK*, met zon. De oorzaak van het verschil, tusschen de richting der beweging van de as der aarde en die van den tol, ligt hierin, dat de laatstgenoemde door de werking der zwaartekracht genoopt wordt te vallen, dat is, een beweging te maken, waardoor de hoek *PAK* vergroot wordt, terwijl bij de as van de aarde juist het omgekeerde plaats heeft.

Ook de zijdelingsche afwijkingen van cilindervormige projectielen, die uit een vuurmond worden geschoten, waarvan de ziel met trekken is voorzien, bieden ons een soortgelijk verschijnsel als de praecessie aan, dewijl zij zich grootendeels laten verklaren uit de wentelende beweging van het projectiel om zijne as, in verband met den tegenstand der lucht, waarbij de afwijkingen ter rechter- of ter linkerzijde afhangen van de richting waarin de genoemde aswenteling plaats heeft.

Wanneer het projectiel den vuurmond verlaat, heeft de as van den cilinder dezelfde richting als de as der ziel en zou haar door de snelle wenteling om zijne as onveranderd behouden, zonder den tegenstand der lucht, waardoor die richting min of meer gewijzigd wordt. Zijn de trekken b. v. rechts, dat is met zon voor een waarnemer, die achter den vuurmond, met het gezicht naar de monding gekeerd staat, dan wentelt het projectiel mede rechtsom.

In het klimmend gedeelte van hare baan, fig. 60, werkt de tegenstand der lucht meest tegen de punt van het projectiel, en zal de richting der as, met betrekking tot die der baan, geen verandering ondergaan. Gaandeweg echter, vooral in den dalenden tak der baan, treft die tegenstand het projectiel, bij de tegenwoordige cilindervormige inrichting, meer aan den onderkant en verplaatst zich het middelpunt van drukking zoodanig, dat het tusschen de punt en het zwaartepunt van het projectiel valt. Hierdoor wordt de as des cilinders genegd zich op te heffen, dat is, tot de vertikaal te naderen, en zonder de wentelende beweging om de aslijn zou dit ook werkelijk gebeuren.

In verband met deze wenteling gebeurt echter iets anders: de as richt zich niet op, maar verplaatst zich in een azimuthale richting, en wel, even als de as der aarde, teruggaande. De projectie der as op een horizontaal vlak, welke zich aanvankelijk recht vooruit van *b* naar *a* richtte, fig. 60, komt in de richting *b'a'*, met de punt meer rechts, en er zal dus een zijdelingsche tegenstand der lucht aan de linkerzijde van het projectiel en een zijdelingsche afwijking van het projectiel uit de baan naar de rechterzijde ontstaan.

b. De nutatie.

Bij onze voorgaande redeneering hebben wij aangenomen, dat de zon en de maan zich in het vlak der ecliptica bevonden, en tevens zoo geplaatst waren, dat het punt *b*, fig. 57, van de verdikking meer, het punt *a* daarentegen minder werd aangetrokken, of hetgeen op hetzelfde neêrkomt, dat de grootere aantrekking op *a*, doch naar de linkerzijde, de mindere op *b* plaats had. Omtrent de werking der zon moeten wij nu opmerken, dat het verschil der krachten bij *b* en bij *a*, uit den aard der zaak, niet altijd even groot zal zijn. De grootste werking heeft plaats, als de zon zich in de lijn bevindt, die in de figuur de ecliptica voorstelt, zooals het geval zal wezen tijdens den langsten en den kortsten dag. Hoe nader echter de zon bij een der nachteveningen staat, des te geringer zal hare werking zijn om de praecessie te doen ontstaan, en in de tijdstippen, waarop de zon in ♈ of ♎ staat, is die werking geheel nul. De hierdoor in de praecessie ontstane kleine onregelmatigheid wordt de solaire nutatie genoemd.

Wat de maan betreft, waarvan de werking door hare grootere nabijheid van de aarde en hare grootere dichtheid van stof, sterker is dan die van de zon, zoo heeft men daarbij een nog veel grootere ongelijkheid op te merken. De maan beweegt zich namelijk in een vlak, dat, zooals wij later zien zullen, ongeveer onder een hoek van 5° op de ecliptica helt. Hieruit volgt, dat de werking van de maan op de afgeplatte aarde, niet zoo zeer streeft om het punt ♈ langs de ecliptica te doen teruggaan, en om de helling van den equator op de ecliptica standvastig te doen blijven, dan wel om de lijn van doorsnede van het vlak des equators met dat van de baan der maan te doen teruggaan langs het laatstgenoemde vlak, en om de helling van den equator, ten opzichte van dat vlak, standvastig te doen blijven.

De as van de aarde moet dus, door de vereenigde werking van zon en maan, gelijktijdig een cirkelboog om de pool der ecliptica en om de pool der maansbaan beschrijven, welke polen op 5° afstands aan den hemel van elkander liggen. Het is duidelijk, dat zij noch het een, noch het andere zal doen, maar dat zij een boog zal doorloopen om een punt, dat

tusschen de genoemde polen ligt, en wel, nader bij de pool der maansbaan, dan bij de andere pool.

Had het vlak, waarin de maan zich beweegt, een vasten stand, dan zou het bovenstaande werkelijk plaats hebben, en een aanmerkelijke verandering in de helling van het vlak van den equator op dat van de ecliptica zou in den loop der eeuwen plaats vinden, waarvan een merkelijke wijziging in de afwisseling der jaargetijden het gevolg zou wezen. Nu echter het vlak van de maansbaan *geen* vasten stand aan den hemel heeft, maar de pool van dit vlak in nagenoeg $18\frac{2}{3}$ jaar, zoo als wij later zien zullen, een cirkel om de pool der ecliptica doorloopt, komt de *gemiddelde* plaats van de eerstgenoemde pool, in $18\frac{2}{3}$ jaar, met die van de ecliptica overeen. De *gemiddelde* weg, dien de pool des equators doorloopt, is dus weder een cirkel, door de werking der maan om de gemiddelde plaats van de pool der maansbaan, dat is, om de pool der ecliptica, en door de werking der zon, zuiver om dit punt. Van de gemelde verandering in de helling van den equator, die in een tijdvak van eeuwen zou plaats hebben, als de maansbaan denzelfden stand behield, blijft slechts een klein deel over, dat in ongeveer 19 jaren al hare phasen doorloopt, en slechts weinige secunden in het geheel bedraagt. De toe- en afneming van de helling des equators op de ecliptica, gedurende den tijd, waarin de pool der maansbaan om de pool der ecliptica loopt, dat is, in bijna 19 jaren, draagt den naam van *lunaire nutatie* van de as der aarde, en wordt meestal eenvoudig *nutatie* genoemd.

Wanneer wij de *gemiddelde* plaats van de pool der aarde, waar zij gedurende $18\frac{2}{3}$ opvolgende jaren zijn zou, indien de maan zich even als de zon steeds in de ecliptica bewoog, als een vast punt beschouwen, dan beschrijft de werkelijke plaats der pool een kleine ellips om de gemiddelde plaats, waarvan de halve groote as zeer nabij 9″,22, de halve kleine as 6″,86 bedraagt. De groote as dezer ellips is steeds gericht in het vlak PAK, fig. 58, dat door de assen van den equator en van de ecliptica gaat. Stemt de lijn van doorsnede van het vlak der maansbaan met dat der ecliptica, overeen met de lijn $A♈$ der nachteveningen, hetgeen tweemaal in den loop van $18\frac{2}{3}$ jaar plaats heeft, dan is de ware plaats van de pool des equators, aan een der uiteinden van de groote as der genoemde ellips. Indien daarbij de klimmende knoop der maan, waarover later, met ♈ samenvalt, dan is de pool P het verst van de pool K verwijderd; $4\frac{2}{3}$ jaar later is de pool aan een der uiteinden van de kleine as. Zij doorloopt den omtrek der ellips in een teruggaande richting.

Newton is de eerste geweest, die het bestaan eener nutatie heeft aangewezen, doch hij geloofde, dat haar bedrag nauwelijks merkbaar zou zijn. De beroemde Engelsche sterrekundige Bradley heeft het eerst de nutatie werkelijk waargenomen, en later is zij uit de theorie der algemeene zwaartekracht volkomen verklaard.

Het gemiddelde bedrag der verplaatsing van het punt ♈, door de gezamenlijke werking van de zon en de maan, luni-solair-praecessie genoemd, is volgens BESSEL, voor het jaar 1750 + T:

$$50'',3757 - 0'',000243589\ T.$$

Volgens LEVERRIER voor het jaar 1850 + T:

$$50'',37032 - 0'',00021762\ T.$$

De luni-solair-praecessie veroorzaakt een gedurige verandering in de declinatie, de rechte-opklimming en de Lengte der hemellichten, zoodat men, bij de opgave dier grootheden, den tijd moet aangeven, voor welken zij gelden. Moet men hieruit voor een ander tijdstip de genoemde coördinaten afleiden, dan behoort de luni-solair-praecessie in rekening te worden gebracht.

c. De seculaire verandering van de helling der ecliptica.

De onderlinge aantrekking der aarde en der planeten is oorzaak, dat het vlak van de aardbaan, dat is de ecliptica, een weinig van stand verandert.

Deze verandering in stand van de ecliptica, die den naam draagt van praecessie door de planeten, heeft natuurlijk geen invloed op het vlak van den equator, maar wel op den hoek, dien de beide vlakken met elkander maken, en de helling zal mitsdien een weinig veranderen, terwijl ook de lijn van doorsnede, of het punt ♈ een weinig langs den equator verplaatst wordt.

De veranderingen, die wij vroeger opmerkten, betroffen alleen den equator en werden door de werking van zon en maan voortgebracht waarbij de ecliptica als een vast vlak werd aangenomen, en dus de Breedte der hemellichten onveranderd bleef. Door de standsverandering van de ecliptica echter, waarvan thans sprake is, ondergaan de rechte-opklimming, de Lengte en de Breedte eenige verandering, maar blijven de declinatiën standvastig.

De geheele verplaatsing, die het punt ♈ ondergaat, draagt den naam van algemeene praecessie. Zij wordt volgens LEVERRIER voor het jaar 1850 + T gegeven door de formule:

$$50'',23572 + 0'',00022578\ T.$$

De middelbare helling der ecliptica bedraagt, volgens PETERS, voor het jaar 1800 + T:

$$23^{0}27'54'',22 - 0'',4645\ T;$$

volgens LEVERRIER, voor het jaar 1850 + T;

$$23°27'31'',83 - 0'',47594\ T - 0'',00000149\ T^2.\ (*)$$

10°. De schijnbare plaatsverandering der hemellichten.

De schijnbare plaats van een hemellicht wordt gewijzigd door de aberratie, de refractie en in sommige gevallen door de parallaxis. De richting, waarin wij dus een hemellicht zien, zal niet die zijn, waarin het zich werkelijk bevindt, maar een andere.

Van deze wijzigingen zullen wij hier alleen de eerste en gedeeltelijk ook de laatste beschouwen; in het 1e hoofdstuk van het 2e deel worden de refractie en de parallaxis, inzonderheid met het oog op het gewicht, dat zij voor de zeevaart hebben, meer opzettelijk tot een punt van overweging gemaakt.

a. De aberratie.

Men verstaat door de aberratie of afdwaling van het licht de schijnbare plaatsverandering, die alle hemellichten zonder onderscheid ondergaan, ten gevolge van de beweging van de aarde om de zon, in verband met de snelheid van de voortplanting van het licht, waardoor de vaste sterren, in den loop van een jaar, kleine kringetjes schijnen te beschrijven.

Het licht, dat de sterren op ons afzenden, heeft zekeren, zij het dan ook korten tijd noodig, om ons oog te bereiken. Was de aarde niet in beweging, dan zou het hemellicht zich bevinden in de richting, volgens welke wij den indruk van het licht ontvangen. Verplaatst zich echter de aarde met een snelheid, die bij de snelheid van het licht vergeleken, in aanmerking kan komen, dan zal men het hemellicht op een andere plaats zien, dan waarop het zich werkelijk bevindt.

Laat SA, SA', fig. 61, de richting aanwijzen van een bundel evenwijdige lichtstralen, komende van een ver verwijderd hemellicht S naar de aarde in A. Indien dan de aarde stil stond, namelijk geen beweging om de zon had, dan zou een waarnemer op hare oppervlakte, om de ster S te zien, het oog rechtstreeks naar S moeten wenden, of bij het gebruik van een kijker, dezen de richting ABS moeten geven, als AB den kijker voorstelt.

Wanneer echter in den tijd, hoe kort dan ook, waarin het licht van B

(1) Volgens een onderzoek van OPPOLSEN (zie Sitzungsberichte der Wiener Academie von Wisschenschaften 1867) is deze waarde 0'',59 te groot. Echter wordt in den Nautical Almanac, het Berliner Jahrbuch en de Connaissance des temps, het oorspronkelijk van LEVERRIER afkomstig getal gebruikt.

naar A door den kijker gaat, de aarde en de kijker verplaatst worden van A naar A', dan is het duidelijk, dat het licht de as des kijkers, indien hij volgens AS gericht is, niet kan volgen. De kijker zal in dat geval gericht moeten zijn volgens AB', d. i. volgens de diagonaal van het parallelogram $ABB'A'$. Het licht treedt dan bij B' in den kijker en vervolgt werkelijk zijn weg naar A', en op het oogenblik, waarop het dit punt bereikt, is ook het oculair A in A' gekomen. Het licht heeft klaarblijkelijk de as des kijkers volkomen gevolgd, en bij gevolg zal de waarnemer de ster zien, alsof deze zich in het verlengde van AB', dat is in S' bevond.

Wij hebben, voor de duidelijkheid, vooronderstеld, dat de waarnemer van een kijker gebruik maakte; dit was echter niet noodzakelijk. Het oog toch, als het zich van A naar A' beweegt, treft het licht met de snelheid AA', terwijl het oog getroffen wordt met de snelheid BA, zoodat de indruk, dien het oog ontvangt, gericht zal zijn volgens de diagonaal $B'A$. Het is slechts de vraag, of de snelheid AA' van de aarde, vergelijkbaar is met de snelheid BA van het licht, zoodat de hoek BAB' voor ons merkbaar wordt, en dit is door de waarnemingen op de overtuigendste wijze bevestigd. Wij zullen later, bij de w a c h t e r s der planeten, het middel doen kennen, waardoor ROEMER tot de kennis van de snelheid van het licht geraakte.

Zij hoek BAB', die de aberratie genoemd wordt, α, hoek SAN of de hoek, dien de ware richting van den lichtstraal maakt met de richting, waarin de aarde zich beweegt, β, dan is in den driehoek BAB':

$$BB' : AB = \sin\alpha : \sin(\beta - \alpha)$$

waaruit

$$\sin\alpha = \frac{BB'}{AB}\sin(\beta - \alpha) = \frac{AA'}{AB}\sin(\beta - \alpha).$$

Nu besteedt, volgens de ontdekking van ROEMER, of liever, volgens de latere waarnemingen van W. STRUVE, het licht $8^m17^s,78$ om den gemiddelden afstand van de zon tot de aarde te doorloopen; de aarde doorloopt hare baan om de zon, gesteld dat hare beweging eenparig, en de baan een cirkel zij, in 365,256 dagen en zal dus den boven bedoelden afstand afleggen in

$$\frac{365^d,256}{2\pi}.$$

Wij hebben dus

$$\sin\alpha = \frac{(8^m17^s,78)2\pi}{365^d,256}\sin(\beta - \alpha)$$

waaruit, als wij α ten opzichte van β, die bij de zon gelijk 90° is, verwaarloozen:

$$\alpha = 20'',45$$

terwijl in het algemeen voor α, in secunden uitgedrukt, verkregen zal worden:

$$\alpha = 20'',45 \sin \beta.$$

Men noemt het getal 20",45 de constante der aberratie. Zij is door STRUVE uit de topsafstanden van eenige sterren, die nabij het toppunt van het observatorium van de Pulkowa culmineerden, rechtstreeks afgeleid (1).

Het is met de aberratie van het licht volkomen zoo gelegen, als met de veranderde richting van den wind, die aan boord van een voortgaand vaartuig wordt waargenomen. Laat b. v. A, fig. 62, een stoomschip zijn, dat zich verplaatst met een snelheid AA', terwijl BA de snelheid van den wind voorstelt, dan zal de rook van den schoorsteen niet de verlengde richting van BA, maar die van de diagonaal $B'A$ aanwijzen, en de richting van den wind zal bij gevolg aan boord van een stoomend of zeilend vaartuig, altijd voorlijker worden waargenomen, dan wanneer het schip stil ligt.

Gaan wij thans den invloed na, dien de aberratie op de schijnbare plaatsen der vaste sterren uitoefent, dan hebben wij daarbij in acht te nemen:

1°. dat de bedoelde verplaatsing, gemeten door den hoek SAS', fig. 61, onafhankelijk is van den afstand van het hemellicht. Is dus Z de ware plaats van een andere ster, dan zoude ook zij in Z', dat is, in de richting van AS' gezien worden; daarentegen is zij afhankelijk van de snelheid der aarde in hare loopbaan;

2°. dat de schijnbare verplaatsing, die de ster ondergaat, in het vlak geschiedt, dat wij ons door de ster en de raaklijn aan de baan der aarde in A, d. i. door AN kunnen denken, terwijl immer de schijnbare plaats S' gelegen is aan die zijde van de ware plaats S, werwaarts de aarde zich beweegt.

Laat Z, fig. 63, de zon, s de ware plaats van een vaste ster, E de pool der ecliptica CC', hoek $sZG = b$ de Breedte der ster en A, A_1, A_2 de aardbaan zijn, dan zou de ster uit de verschillende standplaatsen van de aarde A, A_1, A_2 enz. gezien worden, indien er geen aberratie bestond, volgens de onderling evenwijdige richtingen As, A_1s, A_2s, enz., indien wij den afstand van de ster tot de aarde oneindig groot stellen,

---

(1) De constante 20",255 was die van DELAMBRE, afgeleid uit verduisteringen van de Jupiters-satellieten. De details van dit onderzoek zijn totaal onbekend; waarschijnlijk zijn de berekeningen verloren. In den Nautical Almanac wordt steeds de constante van STRUVE gebruikt = 20",4451, maar daar uit de opgaven van STRUVE blijkt, dat de tweede decimaal zelfs onzeker is, zullen wij 20",45 blijven gebruiken.

welke vooronderstelling gemakshalve gedaan wordt, opdat de jaarlijksche parallaxis, waarover later, zich niet met de aberratie vermenge.

Trekken wij door de punten A, A_1, enz. raaklijnen At, A_1t_0, enz. aan de baan van de aarde, dan moet de ster, volgens het vroeger opgemerkte, ten gevolge van de aberratie, zich eerst in het vlak sAt, vervolgens in het vlak sA_1t_0, enz. verplaatsen, en wanneer wij de richting, waarin de aarde zich beweegt, door den pijl P aanwijzen en stellen:

$$\text{hoek } sAt = \beta, \text{ hoek } sA_1t_0 = \beta', \text{ hoek } sA_2t_1 = \beta'', \text{ enz}$$

De snelheid in $A = T$, in $A_1 = T'$ in $A_2 = T''$, en de middelbare snelheid $= s$, dan zal:

$$\text{hoek } sAe = \frac{T}{s} \times 20'',45 \sin \beta$$

$$\text{hoek } sA_1d = \frac{T'}{s} \times 20'',45 \sin \beta'$$

$$\text{hoek } sA_2a = \frac{T''}{s} \times 20,''45 \sin \beta'' \text{ enz.}$$

zijn. Klaarblijkelijk zullen deze hoeken onderling in grootte verschillen. Bevindt zich de aarde in A_2 en A_4, dan is de hoek $sA_2t_1 = sA_4t_3 = 90°$ en de hoeken $aA_2s = bA_4s$ zullen hunne grootst mogelijke waarde, namelijk $\frac{T''}{s}$ en $\frac{T^{IV}}{s} \times 20'',45$ bereiken. In de punten A_1 en A_3 daarentegen, alwaar de richting, waarin de aarde zich beweegt, evenwijdig is aan GG', is hoek $sA_1t_0 = 180° - b$ en hoek $sA_3t_2 = b$, zoodat aldaar de hoek $sA_1d = sA_3c = \frac{T'}{s}$ of $\frac{T'''}{s} \times 20'',45 \sin b$ zijne kleinste waarde zal hebben.

Dewijl het den waarnemer op aarde voorkomt, alsof hij zelf niet in beweging is, zullen wij hem in rust onderstellen in het punt Z. Trekken wij nu uit Z lijnen evenwijdig aan de raaklijnen At, A_1t_0, A_2t_1, A_3t_2, A_4t_3, en maken wij elk dezer zoolang, als de beweging der aarde bedraagt in den tijd, dat het licht van de ster S tot Z komt; construeeren wij dan de parallellogrammen tusschen ZS en die lijnen, dan geven de vierde hoekpunten dezer parallellogrammen de plaatsen aan, waar de ster zich schijnt te bevinden. Deze schijnbare plaatsen liggen nu, rondom het punt S, in een vlak gaande door de ster, en evenwijdig aan de ecliptica; en de vraag is nu, welke de vorm is der kromme lijn, die de ster in dit vlak schijnt te beschrijven. Indien de aarde zich in een cirkel om de zon bewoog, dan zou die kromme lijn klaarblijkelijk ook een cirkel zijn, waarvan de ster zelve het middelpunt zou innemen, want dan zou de snelheid der aarde standvastig zijn, en derhalve zouden de voerstralen sa, sb, sc, enz., uit s naar de punten der kromme lijn getrokken, even groot zijn.

Maar ook nu de beweging der aarde om de zon in een ellips plaats heeft, is die schijnbare loopbaan der ster, in hetzelfde, aan de ecliptica evenwijdige vlak, een cirkel, maar de ster S staat niet in het middelpunt van dien cirkel; de uitmiddelpuntigheid van S met betrekking tot den straal is even groot als de excentriciteit van de loopbaan der aarde.

Stel, om dit te bewijzen, dat de aarde in B is fig. 63[a] en dat BB' de beweging der aarde in één tijdseenheid voorstelt, dan is $BB'Z$ het perk, dat de voerstraal der aarde in die tijdseenheid beschrijft. Daar dit perk nu, volgens de tweede wet van KEPPLER, een standvastige grootte heeft, en de inhoud van den driehoek $BB'Z$ gelijk is aan BB' vermenigvuldigd met de halve loodlijn ZD, uit het brandpunt Z op de raaklijn BB' nedergelaten, zoo is BB' omgekeerd evenredig aan ZD. Nu liggen volgens een eigenschap der ellips, de voeten D dezer loodlijnen allen in den cirkel CDA, die op de halve groote as beschreven wordt (1). Trekken wij nu DZ door, totdat zij den cirkel in E snijdt, dan is

$$ZD \times ZE = ZA \times ZC,$$

dus standvastig; en ZE is dus omgekeerd evenredig aan ZD, derhalve is de snelheid der aarde BB' evenredig aan ZE.

Zetten wij nu in fig. 63[b] Sb af, evenwijdig aan DBB' en gelijk aan ZE, dan stelt b de plaats voor, waar de ster s gezien wordt, als de aarde zich in B bevindt, en het is duidelijk dat de plaats van het punt b, ten opzichte van S ook door het punt E wordt aangegeven, als men den cirkel $ADCE$ 90° laat draaien, in de richting van E naar C. Daaruit volgt dus, dat b in den omtrek van den cirkel abc ligt, en dat de excentriciteit $\frac{QS}{Qa}$ dezelfde is als $\frac{PZ}{PA}$.

Men ziet uit het bovenstaande ook dat de cirkels, waarin de sterren zich ten gevolge van het verschijnsel der aberratie schijnen te bewegen, als men voor alle sterren een zelfden afstand aanneemt, ook voor alle sterren even groot zijn; nu doet zich een cirkel, in een schuine richting gezien, voor als een ellips; de kromme lijnen, die de sterren ten gevolge van de aberratie in den tijd van een jaar aan den hemel schijnen te beschrijven, zijn dus kleine ellipsen, waarvan de halve groote as, $as = sb$ fig. 63 voor allen zonder onderscheid even groot, en wel $= 20'',45$ is en evenwijdig loopt aan het vlak der eliptica, de halve kleine as daarentegen $20'',45 \times \sin b$ is gericht volgens den breedtecirkel der ster. Staat de ster in de pool der ecliptica, dan is $b = 90°$, en de bedoelde ellips zal in een cirkel overgaan.

(1) Dit wordt aldus bewezen. Zij F het tweede brandpunt der ellips. Trek FB door tot G, dan deelt de raaklijn BD den hoek ZBG midden door; als dus ZD den verlengden voerstraal FB in G snijdt, is $BG = BZ$, dus $FG = FB + BG = FB + BZ, = 2a$.

Nu is ook $ZD = DG$ en $ZP = PF$; dus is PD evenwijdig aan FG, en $ZF : ZP = FG : PD$; maar $ZF : ZP = 2 : 1$; alzoo ook $FG : PD = 2 : 1$; daar nu $FG = 2a$ is, zal dus $PD = a$ zijn.

Het middelpunt der ellips, die elke ster schijnt te beschrijven, valt wel niet samen met de plaats, die de ster zou innemen, als de aarde zich niet bewoog, maar het verschil is voor elke ster standvastig, en wordt daarom bij de herleiding der middelbare plaatsen van de sterren uit de waarnemingen verwaarloosd, zoodat deze middelbare plaatsen, zooals zij in de sterrelijsten en sterrekundige almanakken zijn opgegeven, eigenlijk gelden voor het middelpunt der kleine ellips, die de ster door de aberratie in een jaar schijnt te beschrijven. Maar juist daarom behoeft men bij de berekening eener schijnbare plaats uit de middelbare, op dit verschil ook niet te letten, en de schijnbare plaatsen zijn dus in de sterrekundige almanakken goed opgegeven.

Naarmate de Breedte der ster kleiner is, vermindert ook de kleine as *cd*. Zij is nul, als de ster in het vlak der ecliptica ligt, en dewijl de groote as steeds hare waarde behoudt, zoo zal in dit geval de ster in een rechte lijn schijnen heen en weer te slingeren en daarbij $\pm$ 20″,45 van de gemiddelde plaats afwijken.

Bij eenig nadenken zal men inzien, dat in het algemeen, zoowel de Breedte en de Lengte, als de rechte-opklimming en de declinatie van een ster, door de aberratie kleine veranderingen zullen ondergaan, die na verloop van een jaar telkens tot haar vorig bedrag zullen terugkeeren.

Is S, fig. 64, de zon, A de aarde, die in den tijd, waarin het licht van S naar A wordt voortgeplant, zich van A naar A' verplaatst, dan zal de aarde de zon niet in S, maar in S' zien, als wij SS' gelijk en evenwijdig aan AA' nemen. Nu ziet de aarde, als zij in A is, de zon volgens de richting AS', d. i. juist in de richting, waarin de zon zich ten opzichte van de aarde werkelijk bevond, toen deze nog in A_0 was, indien $AA_0 = AA_1$ genomen wordt, en men ontwaart dat dit juist zooveel tijds vroeger is, als het licht behoeft om den afstand AS te doorloopen. De Lengte van de zon zal dus immer grooter zijn dan die, welke uit de waarneming wordt afgeleid, en deze laatste zal met 20″,45 moeten vermeerderd worden om de werkelijke Lengte te verkrijgen. Dewijl de aarde zich met een veranderlijke snelheid in een ellips om de zon beweegt, moet bovenstaande waarde als een gemiddelde worden aangemerkt. De nauwkeurige uitdrukking is

$$20'',45 + 0'',343 \cos m,$$

als m de middelbare anomalie beteekent.

Indien S een planeet was, die toevallig in dezelfde richting en met dezelfde snelheid als de aarde zich bewoog, dan zouden wij de planeet zien in dezelfde richting, waarin zij op het oogenblik der waarneming van ons stond. Heeft de planeet een andere beweging dan de aarde, dan ziet de waarnemer in A haar altijd in de richting AS' en ontvangt het licht uit een plaats S, welke de planeet juist zooveel tijds vroe-

ger ingenomen heeft, als het licht behoeft om zich door den afstand AS voort te planten. Is dus een waarneming van een dergelijk hemellicht op zekeren tijd T verricht, dan geldt zij eigenlijk voor een vroegeren tijd t, waarbij $T - t$ gelijk is aan den tijd, dien het licht noodig heeft, om den afstand van het hemellicht tot de aarde te doorloopen. Is de beweging, die het hemellicht, van de aarde gezien, aan den hemel maakt, bekend, en b. v. in rechte-opklimming $= dR$ en in declinatie $= dD$ per uur, dan zullen $(T - t) \times dR$ en $(T - t) \times dD$ de verbeteringen zijn, die men aan de ware richting moet toevoegen, om de richting op het oogenblik T te bekomen, waartoe $(T - t)$ in uren moet zijn uitgedrukt.

De wenteling van de aarde om hare as veroorzaakt de dagelijksche aberratie, aldus genoemd in tegenoverstelling van de andere, die den naam van de jaarlijksche draagt, en welke, gelijk wij gezien hebben, door de beweging van de aarde om de zon ontstaat. Het bedrag van de dagelijksche aberratie is echter zeer gering.

b. De jaarlijksche parallaxis der vaste sterren.

Men noemt in het algemeen parallaxis of verschilzicht de schijnbare plaatsverandering, die een voorwerp ondergaat, ten gevolge der verplaatsing van het oogpunt, waaruit het beschouwd wordt.

Bevond zich een waarnemer in de zon, dan zou hij een vaste ster steeds in dezelfde richting aan den hemel geprojecteerd zien, indien wij aan de zon geen beweging hoegenaamd toeschrijven. Een waarnemer op aarde daarentegen zal, bij de beweging van de laatstgenoemde om de zon, die ster telkens in andere richtingen zien, en de hoek, dien de richtingen van de ster naar de zon en naar de aarde met elkander maken, zal gedurig veranderen en de ster zich schijnen te verplaatsen, indien namelijk die ster niet op een oneindig grooten afstand van de aarde gedacht wordt.

Laat, om dit te ontwikkelen, Z de zon, fig. 65, en A, A', $''A$, $'''A$, verschillende standpunten zijn van de aarde in hare baan. Is voorts S een ster, dan zal die ster in de richtingen AS, $A'S$, $A''S$ enz. worden waargenomen.

Denken wij ons den waarnemer in rust, in eenig punt M, en trekken wij uit dit punt lijnen Ma, evenwijdig aan AS, enz., dan zullen deze de richtingen zijn, waarin de waarnemer de ster gezien heeft, en $aa'a''a'''$ zal voor den waarnemer in rust de weg zijn, dien de ster moet doorloopen, als $Ma = AS$, $Ma' = A'S$ enz. genomen wordt.

Door de beweging van de aarde om de zon, moet alzoo elke ster een weg schijnen af te leggen, die volkomen overeenkomt met de loopbaan der aarde en gelegen is in een vlak, evenwijdig aan dat van de ecliptica.

Zoekt men de doorsnede van den scheeven kegel, die dezen weg tot

basis en het punt M tot top heeft, met de spheer, dan vinden wij even als bij de aberratie, daarvoor een kleine ellips, die voor een ster in de pool der ecliptica in een cirkel overgaat, en waarvan de kleine as afneemt met de Breedte der ster en met deze nul wordt.

Men noemt den hoek, waaronder men uit de aarde de halve groote as van die ellips waarneemt, de jaarlijksche parallaxis van de ster.

Een kennelijk onderscheid tusschen deze ellipsen en die, welke de sterren door de aberratie beschrijven, bestaat hierin, dat in het onderhavige geval, de assen van de verschillende ellipsen aan de spheer, omgekeerd evenredig zijn met de afstanden der sterren, dewijl de basis van den kegel voor alle sterren dezelfde afmetingen heeft. Bij de aberratie daarentegen wordt, zooals wij gezien hebben, de groote as altijd onder denzelfden hoek gezien, en is niet van den afstand van de ster afhankelijk.

Ten einde een en ander te verduidelijken, stellen wij dat het vlak $SA'''A'$ de ecliptica rechthoekig snijdt; dan mogen wij, dewijl de hoeken aan S uiterst klein zijn, de Breedte b van de ster door den hoek $SA'''A'$ voorstellen, en voor $A'S$ en voor $A''S$ den afstand $ZS = A$, of den afstand van de zon tot de ster nemen. Noemen wij verder den straal van de aardbaan R, dan is in den driehoek $A'SA'''$:

$$\sin A'SA''' = \frac{A'''A'}{A'S} \sin SA'''A'$$

of

$$\sin A'SA''' = \frac{2R}{A} \sin b$$

en in den driehoek ASA'', als wij ons AA'' rechthoekig op $A'A'''$ denken:

$$\sin ASA'' = \frac{A''A}{SA''} \sin SAA''$$

of

$$\sin ASA'' = \frac{2R}{A} \sin SAA''.$$

Neemt men verder in aanmerking, dat hoek $SAA'' = 90°$ mag gesteld worden, en dat hoek $A'SA'''$ de hoek is, waaronder de kleine as, hoek ASA''' daarentegen die, waaronder de groote as van de ellips aan de spheer gezien zal worden, dan komt:

$$\text{halve kleine as} = \frac{R}{A \sin 1''} \sin b$$

$$\text{halve groote as} = \frac{R}{A \sin 1''},$$

welke uitdrukkingen voldoende zullen zijn om het boven opgemerkte te verklaren.

Een ander verschil tusschen de genoemde ellipsen is nog hierin gelegen, dat door de aberratie de ster immer van hare gemiddelde plaats afwijkt in het vlak, gaande door de ster en de raaklijn aan de baan van de aarde, terwijl de afwijking bij de parallaxis altijd geschiedt in het vlak, gaande door de aarde, de zon en de ster. De doorsneden van deze vlakken met de ecliptica zijn de raaklijn en de voerstraal en maken dus met elkander een hoek van nagenoeg 90°.

Soortgelijke overwegingen deden BRADLEY besluiten tot een poging om de jaarlijksche beweging der vaste sterren te bepalen en daaruit het bewijs te leveren, dat de aarde zich om de zon bewoog, een bewijs, dat tot op zijn tijd uit de vaste sterren nog niet was afgeleid. Ofschoon zijne waarnemingen het beoogde doel niet bereikten, ontdekte hij echter daarbij de aberratie en leverde dus het bewijs van de wenteling van de aarde om de zon, doch niet op de wijze, zooals hij gemeend had, zulks te kunnen doen.

De bepaling van de jaarlijksche parallaxis van een ster, is van zeer veel gewicht, omdat men daaruit den afstand van die ster tot de aarde kan afleiden. Daar zij altijd zeer klein is, kan zij alleen door zeer vele voorzorgen bepaald worden langs den weg, die het meest voor de hand ligt, namelijk om de schijnbare plaatsen, d. i. de rechte-opklimmingen en de declinatiën der sterren op verschillende tijden des jaars rechtstreeks te bepalen. Dit is door HENDERSEN en MACLEAR aan de Kaap de Goede Hoop en door PETERS aan de Pulkowa gedaan.

Het middel dat eerst BESSEL, en na hem anderen met eenigen gunstigen uitslag hebben aangewend, is het volgende. Het is waarschijnlijk dat de sterren die een sterke eigene beweging verraden, dichter bij ons zijn dan andere. Stelt men zich nu twee sterren voor, die ongeveer in dezelfde richting staan en dus beide te gelijker tijd zich in het veld van een kijker vertoonen, en heeft de eene ster geen sterke eigen beweging, de andere wel, dan bestaat er reden om te vermoeden, dat de eene veel verder van ons afstaat dan de andere. Is dit het geval, dan kan bij de eerste de invloed van de verplaatsing der aarde onmerkbaar zijn, terwijl hij bij de andere zal kunnen opgemerkt worden en zich dadelijk zal openbaren, zoodra de angulaire afstand der beide sterren en de richting van dien afstand veranderen. Meet men, in den loop van een jaar, bij herhaling de genoemde grootheden, dan zal men in staat zijn de afmetingen te bepalen van het kringetje, dat door de meest nabijzijnde ster schijnbaar wordt doorloopen.

Zie hier een lijst van eenige waarden van jaarlijksche parallaxen, alsmede de daaruit afgeleide afstanden tot het zonnestelsel, uitgedrukt zoowel in halve groote assen der aardbaan, als in zoogenaamde lichtjaarafstanden, d. i. in lengte-eenheden, die zulk een afmeting hebben, dat het licht één jaar noodig heeft om ze te doorloopen.

Ster.	Grootte.	Jaarlijksche Parallaxis.	Afstand in halve groote assen der aardbaan.	Afstand in lichtjaarafstanden	Door wien bepaald.
α Centauri.	1 en 4	0″,92	220,000	3,5	Hendersen en Maclear.
61 Cygni.	5½ en 6	0 ,51	400,000	6,4	Otto Struve.
Lalande 21185.	7½	0 ,50	410,000	6,5	Winnecke.
β Centauri.	1	0 ,47	440,000	6,9	Maclear.
μ Cassiopeiae.	5½	0 ,34	610,000	9,6	Otto Struve.
34 Groombridge.	8½	0 ,29	710,000	11,2	Auwers.
Lalande 21258.	8½	0 ,26	810,000	12,5	Krüger en Auwers.
Oeltzen 17415.	8½	0 ,25	825,000	13	Krüger.
σ Draconis.	5	0 ,25	825,000	13	Brünnow.
α Canis Minoris(Procyon)	1	0 ,24	860,000	13,5	Auwers.
α Canis Majoris (Sirius)	1	0 ,19	1070,000	17	Gijldén uit Maclears waarnemingen.
α Lyrae (Wega).	1	0 ,18	1150,000	18	Brünnow.
p Ophiuchi.	4½	0 ,16	1290,000	20	Krüger.
γ Cassiopeiae.	4½ en 7	0 ,15	1375,000	22	Otto Struve.
α UrsaeMinoris(Poolster)	2	0 ,09	2292,000	36	Peters.

Omtrent α Aurigae (Capella) en 1830 Groombridge loopen de uitkomsten, door verschillende sterrekundigen verkregen, te zeer uiteen om een vertrouwbaar resultaat mede te deelen. Bij α Centauri, 61 Cygni en γ Cassiopeiae zijn in de tweede kolom twee grootten opgegeven, hetgeen daardoor verklaard moet worden dat het dubbelsterren zijn.

11°. Overzicht van de beweging der aarde.

Alvorens onze beschouwing voort te zetten, willen wij in korte woorden het behandelde over dit onderwerp samentrekken.

De aarde beschrijft in den tijd van een jaar om de zon een ellips, waarvan de laatstgenoemde een der brandpunten inneemt, en doorloopt daarbij hare baan, volgens de tweede wet van KEPPLER, met een veranderlijke snelheid.

Het vlak waarin de aarde zich beweegt, verandert door de aantrekking der planeten iets, maar zeer weinig, van stand in de ruimte, waardoor een kleine verandering in de helling op het vlak van den equator wordt te weeg gebracht. De groote as der ellips behoudt hare ligging niet, maar ondergaat een langzame verplaatsing van 11″,6 per jaar in het vlak der ecliptica in dezelfde richting, volgens welke de aarde zich om de zon beweegt.

Bij hare verplaatsing om de zon brengt de aarde een schijnbare verandering te weeg in de richting, waarin wij de sterren zien, die echter wegens de bijna onmetelijke afstanden der sterren tot ons, weinig of niet merkbaar is. Door de verhouding tusschen de snelheid van beweging der aarde en van de voortplanting van het licht ontstaat de aberratie.

Bij de beweging om de zon, wentelt de aarde te gelijker tijd om een

as, die onder zekeren hoek op hare loopbaan helt. Deze as verplaatst zich evenwijdig aan zich zelve, zoo men kleine tijdruimten beschouwt, doch beschrijft over grootere tijdvakken om de pool der ecliptica een kegelvlak, waardoor de ligging van de lijn der nachteveningen voortdurend wordt veranderd. Bovendien beschrijft die as nog in $18\frac{2}{3}$ jaar een elliptisch kegelvlak, waardoor zoowel de helling der as op de ecliptica als de ligging van de lijn der nachteveningen kleine schommelingen ondergaan.

De wenteling om hare as veroorzaakt de schijnbare dagelijksche beweging des hemels en de geregelde opvolging van dag en nacht. De stand van de as der aarde, ten opzichte van de ecliptica, bepaalt de bijzonderheden, die wij omtrent de seizoenen opmerken.

12°. Zonnetijd.

a. Ware tijd.

De schijnbare beweging van de zon bevat voor ons niet slechts den meest geschikten maatstaf voor den tijd, maar biedt zich ook als van zelf daartoe aan; het ligt dus in de natuur der dingen, dat zij algemeen voor dat doel wordt aangewend.

Het tijdsverloop tusschen twee achtereenvolgende bovenste doorgangen van de zon door den meridiaan eener plaats, heet een zonnedag. Deze wordt verdeeld in 24 gelijke deelen, zonne-uren geheeten; een zestigste deel van een uur wordt een minuut, een zestigste deel van een minuut een secunde genoemd.

Het oogenblik van den bovensten doorgang heet ware middag, dat van den benedensten doorgang, ware middernacht, terwijl de ware tijd, op een bepaald oogenblik, het aantal zonne-uren, minuten, enz. is, dat er sedert den laatsten doorgang verloopen is.

Naar burgerlijken tijd rekenende, telt men van middernacht tot middag 12 uren en van middag tot middernacht weder 12 uren en verdeelt alzoo den zonnedag of het etmaal in twee deelen, waarin de uren nader worden aangewezen door de uitdrukkingen: des namiddags, des nachts en des voormiddags of des morgens.

De duur van den zonnedag is een weinig langer dan die van een sterredag, hetgeen een gevolg is van de verandering, die de zon dagelijks in rechte-opklimming ondergaat, welke verplaatsing een tegengestelde richting heeft van die der dagelijksche beweging. Zij namelijk PSA, fig. 66, de declinatie-cirkel van de zon op zekeren dag en te gelijker tijd die van een vaste ster S, EQ de equator, en ec de ecliptica, dan zal bij de wenteling der aarde om hare as, in de richting van den pijl, die meridiaan a eener plaats op aarde in het vlak van dien declinatie-cirkel komen

en de zon gezamenlijk met de ster door dien meridiaan heeten te gaan.

Na één aswenteling valt de bedoelde meridiaan weder met den declinatie-cirkel van de ster te zamen, en er is een sterredag verloopen. In dien tusschentijd echter heeft de zon zich, ten gevolge van hare eigene beweging, b. v. van Z tot in Z' verplaatst, en het zal duidelijk zijn, dat de aardsche meridiaan nog een ruimte moet doorloopen, alvorens de zon te bereiken. De tijd, dien hij daartoe moet besteden, zal gemeten worden door den boog $AA' = \alpha$, welke boog niet anders is dan de verandering, die de zon in rechte-opklimming heeft ondergaan, gedurende het tijdvak, dat tusschen twee van hare achtereenvolgende bovenste doorgangen verloopen is.

De zonnedag bevat dus:

1°. den sterredag;

2°. den tijd, benoodigd tot het doorloopen van den boog α.

Zooals wij later zien zullen, verandert de zon 360° of 24ᵘ in rechte-opklimming in 365,24 zonnedagen, d. i. gemiddeld in 1 zonnedag 3'56",56. Deze 3'56",56 zijn deelen van een sterredag, want 24ᵘ verandering in rechte-opklimming stemmen juist overeen met 360°, welke door een punt van de aarde in 1 sterredag worden doorloopen.

Wij hebben dus:

$$1 \text{ gemiddelde zonnedag} = 1 \text{ sterredag} + 3'56'',56$$

of

$$24 \text{ gemiddelde zonne-uren} = 24 \text{ sterre-uren} + 3'56'',56 \text{ sterretijd.}$$

Was nu de verandering in rechte-opklimming, voorgesteld door den boog α, iederen dag even groot, dan zou de zon een even nauwkeurig hulpmiddel zijn, om den tijd te meten, als een ster; doch de waarde van 3'56",56 is slechts een gemiddelde waarde, daar de zonnedagen het geheele jaar door niet even lang zijn.

De oorzaken van deze onregelmatigheid zijn:

1°. dat de zon zich in de ecliptica beweegt;

2°. dat zij zich niet met een eenparige snelheid beweegt.

De ecliptica maakt, gelijk gezegd is, een hoek met den equator, en bij gevolg heeft de beweging van de zon in Lengte plaats, in een richting, afwijkende van die der dagelijksche beweging. Al ware het dus, dat de zon zich met volmaakt eenparige snelheid in de ecliptica bewoog, dan zou de verandering in rechte-opklimming nog met ongelijke verschillen plaats hebben. Immers, in de nabijheid der evennachtspunten kan de verandering in Lengte vergeleken worden bij het doorloopen van de hypothenusa van een platten rechthoekigen driehoek, waarvan de bazis de daarmede overeenkomstige verandering in rechte-opklimming zal zijn.

In de nabijheid der zonnestanden daarentegen, is de richting van de ecliptica nagenoeg evenwijdig aan die van den equator, en zal dus de

verandering in Lengte en in rechte-opklimming, meer en meer in dezelfde verhouding komen, als op aarde de afwijking in de parallel tot de veranderde Lengte.

Wanneer men hoek Z in de vorige figuur als een koershoek beschouwt, en de verandering in Lengte van de zon als een gezeilde verheid, dan is

$$\text{afwijking} = \text{veranderde Lengte} \times \sin Z$$

en dus

$$\text{verand. rechte-opklimming} = \text{verand. Lengte} \times \sin Z \times \sec d,$$

als d de gemiddelde declinatie is.

Men heeft echter ook

$$\sin Z = \frac{\cos \text{helling}}{\cos d} = \frac{\cos 23^\circ 28'}{\cos d}$$

en dus

$$\text{verand. rechte-opklimming} = \text{verand. Lengte} \frac{\cos 23^\circ 28'}{\cos^2 d},$$

waaruit men zal opmerken, dat zoolang $\cos^2 d > \cos 23^\circ 28'$ is, de verandering in rechte-opklimming kleiner zal zijn dan die in Lengte, en omgekeerd, als $\cos^2 d < \cos 23^\circ 28'$ is. In de nabijheid der equinoxen zal dus het eerste, in de nabijheid der solstitiën het laatste plaats hebben.

Door de ongelijkmatige beweging van de zon in de ecliptica, zou men kunnen vermeenen, dat juist de bovengenoemde ongelijkheid geheel of gedeeltelijk kon worden opgeheven. Dit is echter niet het geval. Immers, dan zou de snelheid van de zon in de nabijheid der equinoxen het grootst en in die der solstitiën het kleinst moeten wezen, hetgeen, zooals wij weten, wel bij het zomer-zonnestandspunt plaats heeft, maar in strijd is met hetgeen wij bij het winter-zonnestandspunt waarnemen, namelijk een maximum van snelheid in de beweging der zon. Welken stand de lijn der apsiden moge innemen, ten gevolge van de verplaatsing van het perigeum, immer zal de zon in de nabijheid van de uiteinden dier lijn een zeer verschillende snelheid hebben.

b. Middelbare tijd.

Om het bezwaar voor de tijdregeling, dat door den ongelijken duur der zonnedagen ontstaat, weg te nemen, wordt de tijd, dien wij voor onze uurwerken behoeven, afgeleid van de beweging van een denkbeeldig lichaam, middelbare zon genoemd, dat de voordeelen aanbiedt, verbonden aan een tijdregeling, afhankelijk van de ware zon, zonder er de nadeelen van te bezitten.

Let men op de oorzaken, waarom de ware zon den tijd niet met juistheid kan meten, dan zal het duidelijk zijn, dat het denkbeeldige lichaam, bij de anomalie de middelbare zon n°. 1 genoemd, tot het beoogde doel niet kan gebezigd worden, dewijl het zich in het vlak der ecliptica beweegt. Wij kiezen dus in den equator een tweede denkbeeldige zon, die wij zon n°. 2 zullen noemen, en dit lichaam zal aan de gestelde eischen voldoen, als het

1°. den equator met een eenparige snelheid doorloopt;

2°. zich te gelijker tijd met de zon n°. 1 in de equinoxen bevindt;

3°. in denzelfden tijd, waarin de zon haren omloop volbrengt, den equator doorloopt.

Uit de tweede voorwaarde volgt:

$$\text{rechte-opklimming zon n}^0.\ 2 = \text{Lengte zon n}^0.\ 1$$

en dewijl deze laatste, volgens hetgeen wij bij de theorie der anomaliën gezien hebben, lichtelijk te bepalen is, zoo is de rechte-opklimming van de zon n°. 2, als bekend aan te merken.

c. Tijdvereffening.

Laat EQ, fig. 67, de equator en ec de ecliptica zijn, dan kunnen wij ons de ware zon in W denken; hare rechte-opklimming zal dan door den boog $\gamma W'$ worden voorgesteld. In dit gedeelte van hare baan, is de zon n°. 1 op de ware zon ten achter, en b. v. in Z'; nemen wij nu den boog $\gamma M = \gamma Z'$, dan zal in M de plaats van de middelbare zon n°. 2 zijn en wij zullen hebben:

$$MW' = \gamma W' - \gamma M.$$

Deze boog MW', die het verschil uitdrukt tusschen de rechte-opklimmingen van de ware zon en van de middelbare zon n°. 2, draagt den naam van tijdvereffening. Zij is in de sterrekundige jaarboeken van dag tot dag opgegeven en stelt ons in staat, uit den waren tijd den middelbaren tijd af te leiden. Men zal namelijk lichtelijk inzien, dat de boog RQW' de maat is van het aantal zonne-uren, enz., dat er sedert den doorgang van de zon door zekeren meridiaan R verloopen is, of, wat hetzelfde is, dat hij den waren tijd van het oogenblik voor dien meridiaan zal voorstellen. Telt men bij dien boog den boog MW' of de tijdvereffening, dan zal RQM de middelbare tijd op dat oogenblik zijn.

De tijdvereffening kan positief, nul of negatief wezen. Ziehier hoe men zich van den loop, dien zij in den tijd van een jaar neemt, een denkbeeld kan vormen. Zij EQ, fig. 68, de equator, $z\gamma♋♎$ de ecliptica, O de aarde, AP de lijn der apsiden, z de ware zon en laat zw en $1n$ twee declinatie-cirkels zijn, door de ware zon en de zon n°. 1 getrokken.

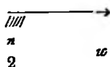
Men herinnere zich:

1°. dat van P tot A, de zon n°. 1, achter is ten opzichte van de ware zon z, hetgeen dus ook het geval zal wezen met n ten opzichte van w, van het punt p tot het punt a, als de laatstgenoemde punten de doorsnijdingen zijn van den equator met den declinatie-cirkel, die door P en A kan gedacht worden, terwijl van a tot p juist het omgekeerde plaats heeft;

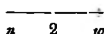
2°. dat n°. 1 en 2 zich te gelijker tijd in de punten ♈ en ♎ moeten bevinden;

3°. dat n°. 1 en z te gelijker tijd in de punten P en A zijn, en mitsdien n en w in de punten p en a samenvallen.

Denken wij ons n°. 1 in het punt ♈, dan is z vóor, maar n en n°. 2 stemmen overeen, en wij hebben als de pijl ⟶ de richting van voor en achter aanwijst:



Iets verder is de volgorde aldus:

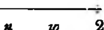


en de tijdvereffening moet bij den waren tijd geteld worden.

De ware zon z, van snelheid verminderende, zal door n°. 1, die steeds met dezelfde snelheid voortgaat, van lieverlede worden ingehaald, en wij zullen ons dus kunnen voorstellen, dat n°. 1 na eenigen tijd zoodanig tot z genaderd is, dat 2 in w valt. Nu is de tijdvereffening nul en de onderlinge stand aldus:



Een oogenblik later, dewijl n°. 1 steeds tot z nadert, zal de volgorde wezen:

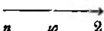


en de tijdvereffening moet van den waren tijd worden afgetrokken.

Is n°. 1 in ♋ gekomen, dan is 2 in Q; z is echter altijd n°. 1 nog vóor en de volgorde is dus:



Nu was eenigen tijd vroeger de volgorde:



en men ontwaart, dat de tijdvereffening van teeken veranderd is; zij is bijgevolg andermaal nul geweest, en er zijn dus in de lente twee tijdstippen, waarop dit plaats heeft.

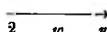
Tusschen *A* en ♋ is *z* nog steeds vóor; om de plaats van 2 af te zetten, beschrijve men nu den cirkelboog uit ♎ als middelpunt, en klaarblijkelijk zal de volgorde dan wezen:



In het punt *A*, komen *z* en nº. 1 te zamen, en wij hebben:



Tusschen *A* en ♎ is nº. 1 vóór *z*, en de volgorde:



In het punt ♎ moeten nº 1 en 2 zich vereenigen, en dewijl *z* achter is, hebben wij:



Tusschen *A* en ♎ is de tijdvereffening weder van teeken veranderd, dewijl *w* en nº. 2 met elkander van plaats verwisseld zijn; de tijdvereffening is dus ten derden male nul geweest.

Van ♎ tot ♑ is nº. 1 steeds vóór *z*, en de volgorde aldus:



Komt nº. 1 in ♑ dan is 2 in *E*, doch *z* is achter en wij hebben:

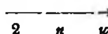


In het punt *P*, komen nº. 1 en *z* weder te zamen en dus ook *n* en *w*; nº. 2 echter is achter en wij hebben:



Tusschen *E* en *p* heeft dus weder een rangverwisseling van *w* en nº. 2 plaats gegrepen, of wat op hetzelfde neêrkomt, de tijdvereffening is voor de vierde maal nul geweest.

Van *P* tot ♈ blijft *z* vóór nº. 1 en de volgorde is:



De tijdvereffening is positief en verandert niet eer van teeken, dan wanneer de drie lichamen zich tusschen ♈ en ♋ bevinden.

Wij zien alzoo, dat de tijdvereffening in den loop van een jaar viermaal nul wordt, namelijk:

tweemaal in de lente	tusschen	♈ en ♋	
eenmaal in den zomer	„	*A* en ♎	
eenmaal in den winter	„	♑ en *P*,	

en wel omstreeks den 15den April, den 14den Juni, den 31sten Augustus en den 24sten December.

Nog merken wij ten slotte op, dat in elk der vier kwadranten, waarin de ecliptica door de lijnen der equinoxen en der apsiden verdeeld wordt, het maximum van den boog *nw* door het maximum van den boog *n*2 wordt overtroffen; en dat de grootste waarde, die de tijdvereffening bereiken kan, op de onderstaande datums in 1880 bedraagt:

11 Febr.	14 Mei	25 Juli	2 Nov.
$+ 14^m 29^s$	$- 3^m 50^s$	$+ 6^m 15^s$	$- 16^m 20^s$.

13°. De jaartelling.

Men verstaat door een **jaar** den tijd, dien de zon besteedt, om de ecliptica, ten opzichte van een daarin aangenomen punt, te doorloopen. Voor dit punt kan men aannemen:

a. het punt ♈,

b. een vast punt;

c. het perigeum,

waardoor drie van elkander onderscheiden tijdperken ontstaan, dewijl het punt ♈ en het perigeum zich, gedurende den omloop der zon, verplaatsen.

a. Het tropische jaar.

Het **tropische** jaar of de omloopstijd van de zon, ten opzichte van het punt ♈, is de grondslag van de jaartelling. In den tijd, dien de zon tot den bedoelden omloop noodig heeft, zijn er, op uiterst weinig na, evenveel ware als middelbare dagen verloopen. Deelt men dus het aantal dagen, dat er over een zeer groot tijdvak, verloopen is tusschen twee doorgangen van de zon door het punt ♈, door het aantal omloopen dan wordt voor den **gemiddelden** duur van het tropische jaar gevonden:

naar HANSEN en OLUFSEN	365,2422008 middelb. dagen,	of	$365^d 5^u 48^m 46^s,15$		
naar LEVERRIER	365,2421996	„	„	„	$365^d 5^u 48^m 46^s,045$.

Brengt men de verandering, die het bedrag der praecessie jaarlijks ondergaat in rekening, dan komt:

$$\begin{matrix}365^d\,5^u\,48^m\,46^s{,}15 \\ 46^s{,}045\end{matrix} - 0^s{,}00595\,(T - 1850).$$

b. Het siderische jaar.

De omloopstijd van de zon, ten opzichte van een vast punt der ecliptica, het siderische jaar genoemd, of het jaar met betrekking tot een vaste ster, duurt iets langer dan het tropische.

Zooals wij weten, verplaatst zich het punt ♈ jaarlijks 50″,236 de zon te gemoet; hierdoor verandert zij in het tropische jaar 360° — 50″,236 in Lengte, en wij hebben dus, om den tijd te vinden, dien de zon tot het doorloopen van de volle 360° behoeft, de evenredigheid:

$$360^\circ - 50'',236 : 360^\circ = 365^d{,}2421996 : x^d$$

waaruit

$$x = 365{,}2563572 \text{ middelb. dagen}$$

of

$$x = 365^d\,6^u\,9^m\,9^s\,26.$$

c. Het anomalistische jaar.

Het perigeum ondergaat, zooals wij vroeger opmerkten, per jaar een verplaatsing van 11″,46, en wel in dezelfde richting als die, waarin de zon zich beweegt. Hierdoor bereikt de zon dit punt later dan de vroeger genoemde punten, en de omloopstijd ten opzichte van het perigeum, het anomalistische jaar geheeten, zal het langst van allen zijn.

Het aantal middelbare dagen, dat dit jaar bevat, vinden wij door de evenredigheid:

$$360^\circ : 360^\circ + 11'',46 = 365^d{,}2563572 : y^d$$

waaruit

$$y = 365{,}259588 \text{ middelbare dagen}$$

of

$$= 365^d\,6^u\,13^m\,48^s{,}4.$$

d. De burgerlijke tijdrekening.

Ofschoon de dag een zeer geschikte tijdmaat is, zoo zouden nogtans voor zeer groote tijdperken aan het uitsluitend gebruik daarvan, zwarigheden verbonden zijn, die het wenschelijk hebben doen achten, in zulke gevallen een grootere eenheid te gebruiken. Hiertoe moet het burgerlijke jaar strekken, dat, bestaande uit een vol aantal dagen, altijd tot de eerstgenoemde eenheid kan teruggebracht worden.

Om het oogenblik aan te wijzen, waarop het eene of andere feit is

voorgevallen, geeft men den datum op van het gebeurde. Deze datum is niets anders dan de uitdrukking van den tijd, die er sedert een oogenblik verloopen is, dat men als aanvangspunt van telling heeft aangenomen.

Hierbij bezigt men nu niet den dag, maar wel het jaar als eenheid, waarvan vervolgens de dag en zijne deelen de onderverdeelingen zijn. Men geeft aan elk opvolgend jaar, van het aanvangspunt af, een doorloopend nummer, ten einde het eene jaar van het andere te kunnen onderscheiden, en heeft alzoo ter bepaling van den datum aan te geven:

1°. het nummer van het jaar,

2°. den dag in dat jaar, en

3°. het juiste uur, waarop het gebeurde is voorgevallen.

Het is van zeer veel gewicht voor de samenleving, dat er tusschen het burgerlijke jaar en de afwisseling der seizoenen een nauw verband besta, zoodat de aanvang van de laatstgenoemden, steeds op dezelfde datums valt in de opvolgende jaren, en dewijl juist in het tropische jaar genoemde afwisseling plaats heeft, behoort het burgerlijke jaar daarmede in overeenstemming genomen te worden. Hierbij moet op den voorgrond staan, dat in elk willekeurig tijdvak evenveel tropische als burgerlijke jaren moeten begrepen zijn, waaruit klaarblijkelijk volgt, dat, dewijl het tropische jaar omtrent $365\frac{1}{4}$ dag bevat, de burgerlijke jaren niet allen dezelfde lengte kunnen hebben.

Naar aanleiding van een en ander, geeft men aan het burgerlijke jaar 365 dagen. Hierdoor verwaarloost men elk jaar $5^u48^m46^s$, hetwelk na vier jaar maakt $23^u15^m4^s$, welke hoeveelheid het burgerlijke jaar alsdan bij het tropische ten achter is. Om deze fout te vereffenen, neemt men na drie jaren van 365 dagen een vierde jaar aan van 366 dagen, welk jaar den naam van schrikkeljaar draagt. Door het nemen van een vollen dag voor het bovengenoemde tekort, begaat men een fout van $0^u44^m56^s$, welke fout na verloop van 100 jaar, tot een bedrag van $25 \times 44^m56^s = 18^u43^m20^s$ opklimt. In plaats van nu het eeuwjaar, zooals behoorde, een schrikkeljaar te doen zijn, laat men dit 365 dagen behouden, waardoor de fout tot $24^u - 18^u43^m20^s = 5^u16^m40^s$. die weder te veel zijn afgenomen, teruggebracht is.

Na vier eeuwen is deze laatste fout aangegroeid tot 21^u6^m; neemt men echter het vierde eeuwjaar een dag langer, en dus als een schrikkeljaar, dan zal de bedoelde fout tot op 2^u54^m vereffend zijn.

e. *Juliaansche tijdrekening.*

Hoe eenvoudig de bovenstaande regeling thans moge schijnen, zoo heeft de jaartelling toch langen tijd in een toestand van wanorde verkeerd, waaruit zij eerst door Paus Gregorius XIII is opgeheven.

Reeds ten tijde van JULIUS CAESAR was de verwarring in de tijdrekening zoo groot, dat de feesten, die voor bepaalde seizoenen waren ingesteld, op geheel andere tijden invielen. Met behulp van den sterrekundige SOSIGENES, bepaalde hij de lengte van het jaar op 365¼ dag; doch dewijl het jaar een vol aantal dagen moest hebben, stelde hij vast, dat er om de 4 jaren, tusschen den 23sten en 24sten Februari 1 dag zou worden ingelascht, terwijl het loopende jaar, zijnde 45 v. C., met 85 dagen vermeerderd werd, om de feesten weder op de behoorlijke tijden te doen plaats hebben. Hij stelde voorts den aanvang van het jaar op den 1sten Januari en gaf de maanden 30 en 31 dagen, met uitzondering van Februari, die in de gewone jaren 28 dagen had, zooals thans nog gebruikelijk is.

Deze tijdrekening, de Juliaansche genoemd, behield men tot het jaar 1582.

f. Gregoriaansche tijdrekening.

In 1577 viel, door het gedurig verwaarloozen van $11^m13^s,8$, welke hoeveelheid het burgerlijke jaar te groot was genomen, de voorjaarsnachtevening op den 11den, in plaats van op den 21sten Maart. Ter vereffening van dit verschil bepaalde GREGORIUS XIII, dat de 4de October 1582 gevolgd zou worden, niet door den 5den, maar door den 15den: dat het eeuwjaar geen schrikkeljaar zou wezen, en gaf voorts de verdere voorschriften, die men thans bij de tijdrekening in acht neemt. Deze tijdrekening draagt, naar den genoemden Paus, den naam van Gregoriaansche. De beschaafde natiën bezigen thans allen de laatstgenoemde tijdrekening; de laatsten die nog het bezigen van de Juliaansche tijdrekening hebben volgehouden waren de Russen en Grieken. In stukken of geschriften die ook bestemd waren onder het oog van anderen te komen, die de Gregoriaansche tijdrekening gebruiken, werd door Russen en Grieken onder den Juliaanschen den Gregoriaanschen datum geschreven, aldus: $\frac{1}{13}$ April, daar de Juliaansche datum in deze eeuw 12 dagen bij de Gregoriaansche ten achter is.

g. Betrekking tusschen middelbaren tijd en sterretijd.

Zooals wij gezien hebben, doorloopt de zon in 365,2421996 dagen de ecliptica, of wat op hetzelfde neêrkomt, verandert in dien tijd 24^u in rechte-opklimming. Wij hebben dus voor de gemiddelde dagelijksche verandering in rechte-opklimming

$$\frac{24^u}{365,2421996} = 3^m\,56^s,555 \text{ sterretijd},$$

en dus

$$1 \text{ middelb. dag} = 1 \text{ sterredag} + 3^m 56^s{,}555 \text{ sterretijd},$$

of

$$24 \text{ middelb. uren} = 24 \text{ sterre-uren} + 3^m 56^s{,}555 \text{ sterretijd},$$

en ook

$$24 \text{ sterre-uren} = 24 \text{ middelb. uren} - 3^m 56^s{,}555 \text{ sterretijd}.$$

Om $3^m 56^s{,}555$ sterretijd in middelbaren tijd uit te drukken, hebben wij de evenredigheid:

$$24^u + 3^m 56^s{,}555 : 24^u = 3^m 56^s{,}555 : x$$

waaruit

$$x = 3^m 55^s{,}909 \text{ middelb. tijd},$$

dus

$$24 \text{ sterre-uren} = 24 \text{ middelb. uren} - 3^m 55^s{,}909.$$

Om het herleiden van een tijdsverloop, uitgedrukt in de eene soort van tijd, tot de andere gemakkelijk te maken, heeft men tafels berekend naar de volgende formules. Zij M een tijdsruimte in middelbaren tijd uitgedrukt, en S dezelfde tijdsruimte, doch in sterretijd, dan is:

$$\frac{M}{S} = \frac{24^u}{24^u + 3^m 56^s{,}555} \quad \text{en} \quad \frac{S}{M} = \frac{24^u}{24^u - 3^m 55^s{,}909}$$

waaruit

$$M = S \times \frac{24^u}{24^u + 3^m 56^s{,}555} \qquad \text{en} \quad S = M \times \frac{24^u}{24^u - 3^m 55^s{,}909}$$

$$M = S\left(1 - \frac{3^m 56^s{,}555}{24^u + 3^m 56^s{,}555}\right) \qquad „ \quad S = M\left(1 + \frac{3^m 55^s{,}909}{24^u - 3^m 55^s{,}909}\right)$$

$$M = S - S \times 0{,}002730435 \qquad „ \quad S = M + M \times 0{,}002737909.$$

Substitueert men in deze formules voor S en M waarden van 1^u tot 24^u, van 1^m tot 60^m, en van 1^s tot 60^s, dan verkrijgt men de termen van Tafel XXII en XXIII.

Vraagt men b. v. een tijdsverloop van 4^u middelbaren tijd in sterretijd uit te drukken, dan is $M = 4^u$ en dus:

$$S = 4^u + 4^u \times 0{,}002737909 = 4^u + 39^s{,}43 = 4^u 0^m 39^s{,}43.$$

Vraagt men een tijdsverloop van 4^u sterretijd tot middelbaren tijd te herleiden, dan is $S = 4^u$ en dus:

$$M = 4^u - 4^u \times 0{,}002730435 = 4^u - 39^s{,}3177 = 3^u 59^m 20^s{,}68$$

zooals in de genoemde tafels gevonden wordt.

Zijn de tijdsverloopen gegeven in uren, minuten en secunden, dan neemt men de som van de nevenstaande termen uit de tafels.

Men vraagt $2^u 5^m 12^s$ verloopen middelb. tijd tot sterretijd te herleiden. Men vindt:

2^u	middelb. tijd	=	$2^u 0^m 19^s,71$	sterretijd
5^m	„ „	=	$5^m 0^s,82$	„
12^s	„ „	=	$12^s,03$	„
$2^u 5^m 12^s$	middelb. tijd	=	$2^u 5^m 32^s,56$	sterretijd.

Men vraagt een tijdsverloop van $5^u 4^m 22^s$ sterretijd tot middelb. tijd te herleiden. Men vindt:

5^u	sterretijd	=	$4^u 59^m 10^s,85$	middelb. tijd
4^m	„	=	$3^m 59^s,34$	„ „
22^s	„	=	$21^s,94$	„ „
$5^u 4^m 22^s$	sterretijd	=	$5^u 3^m 32^s,13$	middelb. tijd.

C. DE MAAN.

Na de zon verdient de **maan**, boven alle andere hemellichamen, een nadere beschouwing. Zij toch verlicht menigmaal onze donkere nachten, veroorzaakt de ebbe en vloed van de zee, en zij is voor den zeeman een uitstekend hulpmiddel ter bepaling van zijne standplaats, weshalve het onderzoek naar de verschijnselen, die zij ons aanbiedt, en de wetten die daarbij ten grondslag liggen, onze aandacht overwaardig zijn.

1°. Bijzondere verschijnselen.

Beschouwen wij de maan dagelijks aandachtig, dan biedt zij ons hoofdzakelijk de volgende verschijnselen aan.

1°. De streek van den horizon, waarin zij den eenen dag opkomt of ondergaat, verschilt met die van den vorigen dag. Vallen de punten, waarin zij opkomt of ondergaat, op zekeren dag met het O. en W. punt van den horizon samen, dan zullen die punten zich den volgenden dag, even als bij de zon, in een N. of Z. richting verplaatsen, en na verloop van eenigen tijd tot den vorigen stand terugkeeren, daarna in tegengestelden zin afwijken, en zoo doende, schommelingen verrichten ten opzichte van de genoemde hoofdpunten.

Merkten wij bij de zon op, dat die schommeling binnen een tijdvak van een jaar of 365 dagen besloten was, en vinden wij daarentegen voor de maan een overeenkomstig tijdvak ongeveer van 28 dagen, dan zal dit een 13 maal grootere snelheid in de verplaatsing der bedoelde punten aanduiden. De grootste amplitudo, die de bedoelde punten daarbij bereiken, is niet standvastig. Hare gemiddelde waarde wordt voorgesteld door de grootste amplitudo van de punten, waarin de zon opkomt en ondergaat.

2°. De maan verplaatst zich ten opzichte van de vaste sterren voor ons oog, in een richting van het Westen door het Zuiden naar het Oosten, even als de zon, en doorloopt zoo doende de teekens van den dierenriem in 27⅓ dag. Hierbij wijkt zij weinig af van den weg, dien de zon schijnt te volgen, of wat hetzelfde is, beweegt zich ongeveer in het vlak der ecliptica, doch openbaart een 13 maal grootere snelheid, naardien zij 27⅓ dag besteedt tot het doorloopen van denzelfden weg, dien de zon in 365 dagen aan den hemel schijnt af te leggen.

3°. Hare rechte-opklimming neemt gemiddeld dagelijks toe met 52 minuten tijds. Het nauwe verband, dat er tusschen dit en het hierboven genoemde verschijnsel bestaat, valt van zelf in het oog.

4°. Hare declinatie is aan groote dagelijksche veranderingen onderhevig. De maan bereikt niet van maand tot maand, zooals de zon jaar op jaar, een standvastige grootste Noorder- en Zuider-declinatie, maar verkrijgt in een tijdvak van ongeveer 19 jaren eenmaal een grootste declinatie van 28°36'30". Gaandeweg wordt dan de grootste declinatie kleiner, tot dat zij, na ongeveer 9⅓ jaar, in een maand niet grooter dan 18°18'30" wordt, waarna zij langzamerhand weder toeneemt.

5°. De hoogte, die zij dagelijks in den meridiaan bereikt, is veranderlijk. Na hetgeen hierboven is aangemerkt, zal het namelijk duidelijk zijn, dat het punt, waarin de maan dagelijks den meridiaan bij den doorgang doorsnijdt, aanhoudend verandert; en dat de grootste en kleinste afstand, waarop dat punt van den equator verwijderd is, afhangende van het maximum der declinatie, den eenen tijd 28°36'30" — 18°18'30" = 10°18' verschillen kan van den anderen.

6°. Zij vertoont zich aan ons oog, onder zeer verschillende gestalten. Den eenen dag zien wij haar als een geheel verlichte schijf; een anderen dag is zij voor een grooter of kleiner gedeelte van licht beroofd, en vertoont zich onder de gedaante van een sikkel, en somwijlen is zij geheel onzichtbaar. Deze veranderingen in voorkomen geschieden echter steeds met de grootste regelmatigheid; steeds is de bolle zijde van het verlichte gedeelte der maan naar de zon gekeerd; altijd is de lijn, die de uiteinden van den sikkel of de h o r e n s der maan vereenigt, loodrecht op de rechte lijn, die wij ons door de middelpunten van zon en maan getrokken kunnen denken, en immer zijn de tijdvakken, die er tusschen dezelfde schijngestalten verloopen, op weinig na, even lang van duur, en wel ongeveer 29½ dag.

Nog merken wij hierbij op, dat de maan, wanneer zij zich als een nauw merkbaar verlicht cirkelboogje vertoont, ongeveer gelijk met de zon opkomt, door den meridiaan der waarnemingsplaats gaat en ondergaat; dat zij, naarmate haar verlicht gedeelte toeneemt, ten opzichte van de zon vertraagt, zoodat zij, voor de helft verlicht zijnde, ongeveer 6ᵘ en geheel verlicht zijnde, ongeveer 12ᵘ na de zon door den meridiaan gaat;

en dat zij eindelijk, wanneer hare andere helft verlicht is, ongeveer te 6^u des morgens, den meridiaan voorbijgaat.

2°. De maansbaan.

Bepalen wij dagelijks de rechte-opklimming en de declinatie der maan, en zetten wij die op een hemelglobe af, dan zullen daardoor de plaatsen zijn aangegeven, die zij, uit de aarde gezien, van den eenen tot den anderen dag, aan den hemel heeft ingenomen. Vereenigen wij vervolgens die punten door bogen, dan verkrijgen wij voor de projectie op de spheer van den weg, dien de voerstraal der maan in 27⅓ dag heeft doorloopen, nagenoeg een grooten cirkel, die met het vlak van de ecliptica een hoek van ongeveer 5°8′39″ maakt.

In het vlak van dien grooten cirkel, ligt de eigenlijke maansbaan; hare doorsnede met het vlak van de ecliptica heet de knooplijn, en de uiteinden van die lijn dragen den naam van de knoopen. Deze worden nader aangeduid door dien van klimmenden knoop ☊, zijnde dat punt, waardoor de maan in het halfrond treedt, dat de Noord-pool bevat, en door dien van dalenden knoop ☋, zijnde het punt, waardoor zij in het andere halfrond nederdaalt.

3°. Teruggang van de knooplijn.

Teekent men met zorgvuldigheid de plaatsen der maan op de globe aan, dan ontdekt men, dat de bovenbedoelde projectie geen gesloten kromme lijn is.

Staat de maan b. v. heden in den klimmenden knoop K, fig. 69, dan zal zij achtereenvolgens de punten M, M' enz. schijnen in te nemen. Zoo rondgaande, komt zij echter niet in het punt K terug, maar snijdt de ecliptica *ec* in een punt K', zoodat het schijnt, alsof het punt K in den tijd, waarin de maan haren omloop volbrengt, van K tot K', dus tegengesteld aan de richting, waarin de maan zich beweegt, is teruggegaan. Wil men zich hiervan door berekening overtuigen, dan bepale men uit de rechte-opklimming en de declinatie, de Lengte en Breedte der maan voor eenige tijdstippen met kleine tusschenruimten; de Nautical Almanac geeft de Lengte en Breedte der maan voor elken middag en elken middernacht op; kiest vervolgens twee Breedten, waarvan de eene Zuidelijk en de onmiddellijk daarop volgende Noordelijk is, en zoekt door interpolatie het oogenblik, waarop de Breedte nul is, dan zal dit het oogenblik zijn, waarop de maan in de ecliptica of in den klimmenden knoop staat. Bepaalt men daarna de Lengte van de maan, mede door interpolatie, voor dat oogenblik, dan zal deze klaarblijkelijk de Lengte van den klimmenden knoop zijn.

Herhaalt men deze berekening voor verschillende omloopen, dan bespeurt men een gedurige vermindering van de Lengte van den knoop, ongeveer ten bedrage van 19°20′30″ per jaar. Na 18⅗ jaar, zal de knooplijn 360° doorloopen, en bijgevolg een geheele omwenteling in het vlak der ecliptica gemaakt hebben. Door deze omstandigheid zal de maan een zeer ingewikkelde kromme lijn aan de spheer schijnen af te leggen, en om nu de beschouwing van hare beweging niet te zeer te bemoeilijken, laat men de maan zich om de aarde bewegen in een plat vlak, maar dit vlak, onder een nagenoeg standvastigen hoek met het vlak der ecliptica, over het laatstgenoemde zich verplaatsen.

Uit deze voorstelling volgt, dat de pool van de maansbaan *s*, fig. 69, in 18⅗ jaar, een cirkel om de pool *p* der ecliptica zal beschrijven, en hier doet zich dus een soortgelijk verschijnsel voor, als dat, hetwelk wij vroeger onder den naam van praecessie hebben leeren kennen. De snelheid, waarmede de pool der maansbaan omwentelt, is echter veel grooter dan die van de pool des equators.

De teruggang van de knooplijn laat zich op de volgende wijze verklaren. Zij, in fig. 70, *Z* de zon, *A* de aarde, *EC* het vlak der ecliptica, *MM′* dat van de loopbaan der maan, dan is *KK′* of de lijn van doorsnede der genoemde vlakken, de knooplijn. Denken wij ons de maan in *M*, dan zal de zon haar aantrekken volgens de richting *MZ*, met een kracht, die wij door *Ma* voorstellen. De aarde, aangetrokken door de zon, volgens de richting *AZ*, ondergaat mede een verplaatsing. Ten einde nu over de betrekkelijke plaatsverandering, die de maan ten opzichte van de aarde ondergaat door de werking der zon, te oordeelen, denken wij ons in de maan twee gelijke, doch tegengestelde krachten werkzaam, *Mc* en *Mc′*, die evenwijdig aan *AZ* en juist zoo groot zijn, dat iedere kracht op zich zelve aan de maan een snelheid zou geven, gelijk aan *Ae*, of aan die, welke de zon aan de aarde mededeelt. Wij stellen dus $Mc = Mc' = Ae$. Nu is het duidelijk, dat de plaats der maan door deze toegevoegde krachten geen verandering zal ondergaan, omdat Mc, *Mc′* vernietigt. Door de snelheden *Ae* en *Mc′* verandert ook de betrekkelijke stand van de maan en de aarde niet, omdat beide lichamen in dezelfde richting evenveel verplaatst worden, en wij kunnen dus de snelheden *Ae* en *Mc′* buiten rekening laten. Van de overblijvende snelheden *Mc* en *Ma* is *Mb* de resultante. *Ma* is nu eens grooter dan *Mc*, dan weder kleiner, naar gelang de maan minder of meer dan de aarde van de zon verwijderd is. Over het geheel genomen, verschillen *Ma* en *Mc* echter niet veel, omdat de afstand van de aarde en de maan, veelmalen kleiner is, dan de afstand van de aarde tot de zon, zoodat wij gemiddeld $Ma = Mc$ mogen stellen, in welk geval *Mb* den hoek *cMZ* middendoor deelt. Zooals men zal inzien, streeft de werking der zon er in het algemeen naar, om de maan nader bij het vlak der ecliptica te brengen. Door de snelheid

echter, waarmede de maan zich om de aarde beweegt, zal de aantrekking van de zon die uitwerking niet hebben, maar een soortgelijk verschijnsel te weeg brengen, als dat van den teruggang der evennachtspunten. Het vlak der maansbaan zal namelijk daardoor onder een nagenoeg standvastige helling om de pool der ecliptica wentelen, en de knooplijn KK zal zich in een teruggaande richting in het vlak der ecliptica verplaatsen. Deze verplaatsing van het vlak der maansbaan is, gelijk wij zagen, de oorzaak van de nutatie van de as der aarde. Wederkeerig ontstaat uit de afgeplatte gedaante der aarde een kleine nutatie in de as der maansbaan.

4°. De helling der maansbaan.

Wanneer wij de Breedte en Lengte van de maan voor een gegeven oogenblik kennen, benevens de Lengte van den klimmenden knoop, dan kunnen wij de helling MKL, fig. 69, van de maansbaan op de ecliptica vinden door de formule:

$$\text{tang}\, MKL = \frac{\text{tang}\, ML}{\sin KL}$$

dat is

$$\text{tang helling} = \frac{\text{tang Breedte} ☾}{\sin(\text{Lengte} ☾ - \text{Lengte} ☊)}.$$

Men kan echter te gelijker tijd de helling en de Lengte van den klimmenden knoop op de volgende wijze bepalen.

Laat M en M', fig. 71, twee standen van de maan zijn, vóór en na den doorgang door den knoop K, dan is, als wij de breedte $AM = b$, de Breedte $M'B = b'$, de helling $AKM = M'KB = \varphi$ en het Lengteverschil $AB = \alpha$ te noemen,

$$\text{tang}\, b = \text{tang}\, \varphi \sin AK \quad \text{en} \quad \text{tang}\, b' = \text{tang}\, \varphi \sin BK,$$

dus

$$\text{tang}\, b + \text{tang}\, b' = \text{tang}\, \varphi\, (\sin AK + \sin BK),$$

waaruit

$$\begin{aligned} \text{tang}\, \varphi &= \frac{\text{tang}\, b + \text{tang}\, b'}{\sin AK + \sin BK} \\ &= \frac{\sin(b + b')}{\cos b \cos b'} \cdot \frac{1}{2 \sin \frac{1}{2}(AK + BK) \cos \frac{1}{2}(AK - BK)} \\ &= \frac{\sin(b + b')}{2 \cos b \cos b' \sin \frac{1}{2}\alpha \cos \frac{1}{2}(AK - BK)}. \end{aligned}$$

Voorts is

$$\frac{\text{tang}\, b}{\text{tang}\, b'} = \frac{\sin AK}{\sin BK}$$

waaruit

$$\tang b : \tang b' = \sin AK : \sin BK$$

$$\tang b + \tang b' : \tang b - \tang b' = \sin AK + \sin BK : \sin AK - \sin BK$$

of

$$\sin (b + b') : \sin (b - b') = \tang \tfrac{1}{2} (AK + BK) : \tang \tfrac{1}{2} (AK - BK)$$

en dus

$$\tang \tfrac{1}{2} (AK - BK =) \frac{\sin (b - b')}{\sin (b + b')} \tang \tfrac{1}{2} \alpha.$$

Het halve verschil van AK en BK hierdoor kennende, kunnen wij ook AK gemakkelijk vinden, welke waarde wij slechts bij de Lengte van de maan in den stand M hebben te voegen om de Lengte van den knoop K te verkrijgen.

Berekent men de helling voor verschillende tijdstippen, dan bespeurt men dat zij niet standvastig is, maar periodiek afwisselt tusschen 5°17'35" en 5°0'1".

Uit den aard der zaak, heeft de verandering der helling ten gevolge, dat de pool der maansbaan zich op verschillende afstanden zal bevinden van de pool der ecliptica, en wij zien dus een soortgelijk verschijnsel ontstaan, als hetgeen wij onder de benaming van nutatie bij de as der aarde opmerkten. Beide veranderingen, de teruggang der knooplijn en de verandering der helling worden volkomen verklaard, indien wij aan de as van de loopbaan der maan een dubbele beweging toekennen, namelijk, de eene in $14\frac{3}{4}$ dag langs den omtrek van een kleinen cirkel, waarvan de straal = 8'47" is, terwijl door de andere het middelpunt van dien kleinen cirkel in 18 jaar en 219 dagen een grooteren om de pool der ecliptica beschrijft. Het verschil tusschen de beweging van de pool der maansbaan en die van den equator ligt, behalve in de grootere snelheid van de eerstgenoemde, ook nog hierin, dat de pool der aarde een kleine ellips beschrijft om het denkbeeldige punt, dat zij zou innemen, indien er geen nutatie bestond, terwijl de pool der maansbaan een cirkel om het overeenkomstige punt doorloopt. Men zij echter hierbij indachtig, dat de cirkelvormige beweging van de pool der maansbaan niet uitsluitend een gevolg is van de afgeplatte gedaante der aarde. De invloed van de genoemde afplatting op den loop der maan is wel merkbaar, doch veel kleiner dan 8', en bedraagt slechts weinige secunden.

5°. De invloed van den teruggang der knooplijn op de declinatie der maan.

De grootste declinatie, die de maan kan bereiken, wordt bepaald door de grootte van den hoek, waaronder het vlak van hare baan, op dat van den equator helt.

Beschrijft de pool der maansbaan *s*, fig. 69, zooals wij vroeger opmerkten, den cirkel *ss'* om de pool *p* der ecliptica, dan zal, dewijl *pP* de helling van de ecliptica voorstelt, het punt *s* zich nu eens op den afstand $sP = 23°28' + 5°9' = 28°37'$ van de pool des hemels bevinden, en dan weder op een afstand $s'P = 23°28' - 5°9' = 18°19'$ daarvan verwijderd zijn. Klaarblijkelijk stellen die afstanden de grootste en kleinste hoeken voor, waaronder het vlak van de maansbaan op dat van den equator helt, en de gevonden waarden zullen dus de grenzen der grootste declinatiën zijn, die de maan in een tijdvak van $18\frac{2}{3}$ jaar, zijnde de omloopstijd der knooplijn, bereiken kan.

De verschijnselen, die de maan ons aanbiedt, vinden wat de vijf eerste, bladz. 208, betreft, hunne verklaring in de vroeger vermelde wijze, waarop de maan zich beweegt. Laat tot toelichting van enkele bijzonderheden *ec*, fig. 72, de ecliptica, *ZN* de horizon, en *ad* het vlak der maansbaan zijn, dan heeft dit vlak na 9 jaar den stand *bf*. Voor het gemak is in deze figuur de ecliptica geteekend voor den stand, waarin zij door het O. en W. punt van den horizon gaat, hetgeen elke 24ᵘ twee malen gebeurt. Even zoo zijn de banen der maan afgebeeld voor de oogenblikken, waarop zij den horizon in de genoemde punten snijden.

Is *P* de Noord-pool en staat de maan in *a*, in welk punt zij hare kleinste Noorder-declinatie bereikt heeft, dan schijnt zij dien dag, door de dagelijksche beweging des hemels, de parallel *aa''* te beschrijven, snijdt den horizon bij de opkomst in een punt *a'*, en heeft bij haren doorgang de hoogte *Na''*. Na 9 jaar, bereikt zij in *b* hare grootste Noorder-declinatie, schijnt dien dag de parallel *bb''* te beschrijven, en komt in een punt *b'* op, terwijl zij in den meridiaan de hoogte *Nb''* bereikt.

De zon heeft daarentegen in het punt *e* hare grootste Noorder-declinatie, welk punt midden tusschen de punten *a* en *b* gelegen is. Dien ten gevolge zal de parallel, door de zon beschreven, den horizon snijden tusschen de punten *a'* en *b'*, en den meridiaan op overeenkomstige wijze midden tusschen *a''* en *b''*, zoodat de zon alzoo de gemiddelde plaats aangeeft, waarvan de maan, tijdens hare grootste declinatiën, met een gelijk bedrag rechts of links afwijkt. Hetzelfde heeft plaats voor de punten *f* en *d*.

De ongelijke grootte van de dag- en nachtbogen der maan, naar gelang dat zij in *d*, *f*, *a* of *b* staat, geeft ons nog de verklaring van een verschijnsel, dat wij des zomers en des winters bij de v o l l e maan opmerken. Zooals wij later zien zullen, staat bij de v o l l e maan, de zon diametraal tegenover haar. Is dus de zon in het winter-solstitium *c*, dan moet de maan in de punten *a* of *b* of ergens daartusschen staan; en haar dagboog zal in dat geval veel grooter zijn, dan wanneer de zon zich des zomers in *e* bevindt, en de volle maan in de punten *f* of *d* of daaromtrent. Hieruit verklaart zich dus het verschijnsel, dat de volle maan zich des

winters zooveel langer dan des zomers boven den horizon vertoont, hetwelk op onze Breedte een verschil in tijd van 12 uren kan opleveren.

6°. Afstand van de maan tot de aarde.

De afstand van de maan tot de aarde kan worden uitgedrukt door de grootte van den hoek, waaronder men uit het middelpunt van de maan den straal van de aarde zou zien. Stellen wij ons namelijk dien hoek als bekend voor, op het oogenblik, waarop de maan zich in den horizon eener plaats bevindt, dan zal men lichtelijk inzien, dat de afstand van de maan berekend kan worden door de oplossing van de hypothenusa van den rechthoekigen driehoek, waarvan de basis de bekende aardstraal van de waarnemingsplaats en de overstaande scherpe hoek de bedoelde hoek is.

Men noemt dien hoek de horizontale parallaxis van de maan. Zie hier op welke wijze die parallaxis gevonden kan worden.

Laat A en B, fig. 73, twee plaatsen op aarde zijn, onder denzelfden meridiaan gelegen, alwaar twee waarnemers bij den doorgang van de maan M, te gelijker tijd hare topsafstanden TAM en $T'BM$ bepalen. De geographische Breedten der plaatsen A en B bekend zijnde, zoo is ook de hoek AOB als bekend aan te merken, en men kan dus uit den vierhoek $AOBM$, waarin de zijden OB en OA, benevens de hoeken $OBM = 180^0 - T'BM$ en $OAM = 180^0 - TAM$ gegeven zijn, den hoek AMB berekenen en daaruit vervolgens ook de hoeken AMO en BMO afleiden.

De laatstgenoemde hoeken zijn, ieder in het bijzonder, de parallaxis in hoogte van de maan. Zooals wij later bij de meer opzettelijke beschouwing der parallaxis zullen opmerken, kan de horizontale parallaxis vervolgens uit die in hoogte gemakkelijk worden gevonden.

Bij deze waarneming moeten verschillende zaken worden in acht genomen, als: de ongelijke lengte der aardstralen, het verschil in richting tusschen de aardstralen en de vertikale lijnen der waarnemingsplaatsen, welke lijnen door de afgeplatte gedaante der aarde, met de bedoelde stralen niet overeenstemmen, enz. Ook moet men bedacht zijn op een klein verschil in Lengte der beide plaatsen, dat zelden vermeden kan worden, omdat zij zoo ver mogelijk van elkander verwijderd moeten zijn, waardoor de waarneming der topsafstanden, niet op hetzelfde oogenblik plaats grijpt, zoodat de verandering in declinatie der maan in dat tijdsverloop moet in aanmerking worden genomen.

Alleen bij de maan is deze methode, wegens haren betrekkelijk geringen afstand van de aarde, met eenige zekerheid uit te voeren.

Tusschen Berlijn en de kaap de Goede Hoop is zij in de vorige eeuw toegepast door LALANDE en LACAILLE. De genoemde waarnemers

vonden voor de horizontale parallaxis der maan bij haren gemiddelden afstand van de aarde voor Parijs 57'3".

OLUFSEN heeft voor de equatoriale horizontale parallaxis van de maan, of den hoek, waaronder de equatorstraal der aarde uit de maan gezien wordt, uit dezelfde waarnemingen gevonden een gemiddelde waarde van 57'2",64. De laatste bepaling is die van BREEN, uit waarnemingen gedaan aan de kaap de Goede Hoop in 1830—37, en in Greenwich, Cambridge en Edinburg. Zijn resultaat was ongeveer hetzelfde, namelijk 57'2",70.

Berekent men, met de gemiddelde parallaxis, den afstand tusschen de maan en de aarde, dan vindt men daarvoor een gemiddelde waarde van 59,6 aardstraal.

Het groote bedrag van de parallaxis der maan maakt het herleiden van de waarnemingen, die op het oppervlak der aarde verricht worden, tot het middelpunt allernoodzakelijkst, zal men geen onjuiste gevolgtrekking maken uit de verschijnselen, die zij den waarnemer op het oppervlak aanbiedt en die verschillend zijn, naar gelang van de plaats, die de waarnemer daarop inneemt. Voor de zeevaart is deze opmerking van zeer veel gewicht, en wij zullen later herhaaldelijk in de gelegenheid zijn haar in aanmerking te moeten nemen.

Wegens den veranderlijken afstand der maan is hare horizontale equatoriale parallaxis ook veranderlijk. De kleinste waarde is omtrent 53',8, de grootste 61',5.

7°. De eigenlijke maansbaan.

Bepalen wij dagelijks, even als bij de zon is geschied, de halve middellijn der maan, dan bespeurt men, in overeenstemming met hare veranderlijke parallaxis, een gedurige verandering van hare grootte.

Kennen wij de declinatie en de rechte-opklimming van de maan voor het oogenblik, waarop zij in den klimmenden knoop K is, fig. 74, en berekenen wij vervolgens, met behulp van hare bekende declinatie en rechte-opklimming, de hoeken KAM, KAM', enz. die haar voerstraal met de knooplijn maakt, dan kunnen wij de maansbaan teekenen, door de gevonden hoeken in fig. 74 af te zetten en op de beenen afstanden AK', Aa, Ab, enz. te nemen, omgekeerd evenredig met de halve middellijn voor die tijdstippen. Vereenigen wij vervolgens de punten K', a, b, enz. door een kromme lijn, dan verkrijgen wij daarvoor een ellips, waarvan de aarde een der brandpunten inneemt. De halve middellijn der maan wisselt af tusschen 14'41" en 16'45", en als wij hieruit de excentriciteit van de bedoelde ellips afleiden, dan vindt men daarvoor een grootere waarde, dan die, welke wij voor de excentriciteit van de loopbaan der aarde hebben gevonden, zoodat de laatstgenoemde minder dan de maansbaan van een cirkel afwijkt. Nauwkeurige bepalingen heb-

ben voor de excentriciteit der maansbaan een waarde van 0,0548 doen vinden.

De groote as $A'P'$ van de elliptische loopbaan draagt den naam van de lijn der apsiden, het dichtst bij de aarde gelegen uiteinde P' dien van perigeum, het verst afgelegen uiteinde A' dien van apogeum.

De bovenstaande manier om de baan der maan aanschouwelijk voor te stellen, moet niet anders aangemerkt worden, dan als een benaderingswijze. Uit de waarnemingen toch blijkt:

1°. dat de gedaante van de ellips veranderlijk is, hetgeen door een periodieke verandering der excentriciteit wordt aangeduid;

2°. dat de grootte der ellips, afhangende van de lengte der groote as, verandert, dewijl de laatstgenoemde niet standvastig is:

3°. dat het vlak, waarin de ellips ligt, zooals wij weten, geen vasten stand in de ruimte heeft, maar zich beweegt om de lijn, die de polen der ecliptica vereenigt, met een ongelijkmatige snelheid, weshalve de beweging der knooplijn niet eenparig is;

4°. dat de hoek, waaronder het vlak van de ellips op de ecliptica helt, binnen enge grenzen een verandering ondergaat;

5°. dat de ellips zich in haar vlak verplaatst met een onregelmatige snelheid, blijkbaar daaruit, dat het perigeum zich met een niet eenparige snelheid beweegt; en eindelijk

6°. dat de wet, die de maan bij hare beweging in hare baan volgt, niet volkomen door de tweede wet van KEPPLER kan worden uitgedrukt.

Naar aanleiding van een en ander zal men inzien, dat de voorspelling van de plaats, die de maan voor een gegeven oogenblik aan den hemel zal innemen, tot een der meest ingewikkelde vraagstukken behoort. De vroeger door ons gebezigde methode, om door berekening ten naastenbij de plaats te vinden, die op een gegeven oogenblik door de zon zal worden ingenomen, mag bijgevolg voor de maan niet dan gewijzigd worden toegepast.

Verlangt men zich een denkbeeld te vormen van de lijn, die de maan in de ruimte beschrijft, dan heeft men in het oog te houden, dat de aarde, bij hare beweging om de zon, de maan met zich voert, en dat deze te gelijker tijd om de aarde loopt. Is dus de aarde in a en de maan in M, fig. 75, dan zal, wanneer de aarde in a_1 gekomen is, de maan in M_1 staan, dewijl zij in den tijd, dien de aarde besteed heeft om zich van a tot in a' te verplaatsen, voor een aardbewoner het gedeelte M_0M_1, heeft afgelegd. Komt de aarde in a_2, a_3, enz. dan zal de maan in M_2, M_3, enz. staan, en de kromme lijn M, M_1, M_2, M_3 enz. in de ruimte hebben beschreven. Dewijl de maan in den tijd van een jaar, iets meer dan 12maal om de aarde wentelt, zoo zullen er in de kromme lijn, die de maan doorloopen heeft, als zij tot hetzelfde punt is teruggekeerd, ook 12 dergelijke gedeelten als MM_1 zijn. Doordien de afstand van de maan

tot de aarde slechts een vierhonderdste gedeelte bedraagt van den afstand der aarde tot de zon, zal de ware weg der maan nooit hare bolle zijde naar de zon keeren, maar altijd hare holle zijde.

8°. Gevolgen van de beweging der maan om de aarde.

a. Omloopstijden.

De tijd, dien de maan besteedt, om uitgaande van zeker punt in hare baan, deze geheel te doorloopen, verschilt naar gelang van de punten, die men daarvoor aanneemt. Kiest men daartoe:

1°. het bewegelijke equinoctium ♈;

2°. het vaste equinoctium;

3°. een betrekkelijk vast punt in de baan, b v. het perigeum;

4°. een der knoopen;

5°. de zon;

dan verkrijgt men:

1°. den tropischen omloop, waarbij de maan dezelfde Lengte verkrijgt, gerekend van het bewegelijke equinoctium;

2°. den siderischen omloop, waarbij zij dezelfde Lengte bereikt, gerekend van het vaste equinoctium; of wat op hetzelfde neêrkomt, den omloop ten opzichte van een vaste ster;

3° den anomalistischen omloop, of haren terugkeer in hetzelfde punt van de ellips;

4°. den draconitischen omloop, waarbij de maan in denzelfden knoop terugkeert;

5°. den synodischen omloop, waardoor zij terugkeert tot denzelfden stand ten opzichte van de zon. Dewijl de helling van het vlak der maansbaan op dat van de ecliptica gering is, mogen wij hierbij aannemen, dat de omloopen in het vlak der ecliptica geschieden.

Om den duur van den tropischen omloop te bepalen, neemt men twee ver van elkander liggende tijdstippen, waarop de Lengte der maan nul is, en deelt het aantal dagen, dat in dit tijdvak begrepen is, door het aantal omloopen. Op deze wijze heeft men voor den gemiddelden duur van den bedoelden omloop in deze eeuw gevonden:

$$27^d\,7^u\,43^m\,4^s,7$$

en dus voor de gemiddelde verandering in Lengte per dag 13°10′15″, die wij a noemen.

Nemen wij nu een beweegbaar punt A aan in de ecliptica, dat per dag ten opzichte van het equinoctium een verplaatsing b ondergaat, dan is de gemiddelde verplaatsing van de maan ten opzichte van dat punt $(a—b)$.

en zij zal dus, na een aantal $\frac{360}{a-b}$ dagen, denzelfden stand met betrekking tot dat punt hernemen.

Deze uitdrukking kan nog aldus geschreven worden:

$$\frac{360}{a-b} = \frac{360}{a} \times \frac{a}{(a-b)} = \frac{360}{a} + \left(\frac{b}{a-b}\right)\frac{360}{a}$$

of wat hetzelfde is:

$$\text{omloopstijd} = \text{trop. omloopstijd} + \text{trop. omloopstijd} \times \frac{b}{a-b}.$$

Geeft men aan b achtereenvolgens deze waarden:

1⁰. $\frac{50'',2}{365,2422}$ of de verplaatsing van ♈ ten opzichte eener vaste ster;
2⁰. 6′41″ „ „ „ „ het perigeum der maan;
3⁰. — 3′10″,6 „ „ teruggang van den knoop;
4⁰. 59′ 8″,33 „ „ verplaatsing van de zon;

dan vindt men:

den siderischen	omloopstijd	$= 27^d\ 7^u 43^m 11^s,5$	tot de vaste ster;
den anomalistischen	„	$= 27^d\ 13^u\ 18^m 37^s,4$	„ het perigeum;
den draconitischen	„	$= 27^d\ 5^u\ 5^m 36^s,0$	„ den knoop;
den synodischen	„	$= 29^d\ 12^u 44^m\ 2^s,9$	„ de zon.

In bovenstaande opgaaf moest voor de verplaatsing van ♈ eigenlijk $-\frac{50'',2}{365,2422}$ staan. Dewijl echter de tropische omloopstijd ten opzichte van het bewegelijke punt ♈ gevonden wordt, zoo moet de bedoelde waarde hier omgekeerd toegepast worden, ten einde op het vaste punt ♈ te komen.

Uit het vroeger opgemerkte, aangaande het veranderlijke van de elementen der maansbaan volgt, dat de duur van de bovengenoemde tijdvakken niet anders, dan als een gemiddelde opgave is te beschouwen.

De laatstgenoemde der omloopen heeft hoogst waarschijnlijk aanleiding gegeven tot de tijdmaat, die wij maand noemen.

b. Schijngestalten of phases.

De verschijnselen, die wij onder n°. 6, bladz. 200 bij de maan opmerkten, doen ons tot het besluit komen, dat de maan in zich zelve een donker lichaam is, dat door de zon verlicht wordt. Uit den aard der zaak moet, daar de zon grooter is dan de maan, slechts een weinig meer dan de helft van het oppervlak door de zon verlicht worden, en bij de wenteling van de maan om de aarde, moet zij ten opzichte van de aarde en de zon in zeer verschillende standen komen, waardoor zij den

waarnemer nu eens een grooter, en dan weder een kleiner deel van hare verlichte oppervlakte toekeert.

De gestalten, die de maan onder die omstandigheden aanneemt, noemt men de schijngestalten of phases. Ziehier eenige bijzonderheden met de noodige toelichting.

Laat A, fig. 76, de aarde, m, m_1, m_2, enz., fig. 76 en 77, verschillende standen van de maan zijn, en laat deze zich bewegen volgens de richting van den pijl. Denken wij ons verder de zon aan de rechterzijde der figuur, dan zullen wij, wegens den grooten afstand tusschen de zon en de maan, de lichtstralen van de zon onderling evenwijdig mogen stellen en alzoo de donkere helft der maan door de geschaduwde deelen kunnen aanwijzen,

Bevindt zich een waarnemer in A, dan ziet hij van de maan in den stand m, wanneer zij in den Breedte-cirkel van de zon ligt, alleen de donkere helft. De zon en de maan hebben in dat geval gelijke Lengte, zullen ongeveer gezamenlijk door den meridiaan der waarnemingsplaats gaan en heeten in samenstand of in conjunctie ☌ te zijn. Deze phase draagt den naam van nieuwe maan.

Bij de verdere beschouwing der phases hebben wij in acht te nemen, dat uit de aarde gezien, de zon zich in dezelfde richting aan den hemel verplaatst als de maan, doch met een veel geringere snelheid. Wij kunnen ons dus voorstellen, dat de zon stilstaat en de maan zich beweegt met een snelheid, die gelijk is aan het verschil der snelheden, van de beide hemellichamen, waardoor de betrekkelijke plaatsverandering van de maan ten opzichte van de zon behouden zal blijven.

Staat de maan in m_1, dan zullen wij haar zien, als m_1, fig. 77. De grens van het donkere gedeelte doet zich namelijk aan ons voor als een halve ellips, zijnde de projectie van den halven cirkel, waarvan *oc* de straal is, op het vlak, dat wij ons door *ob* kunnen denken. Zooals men lichtelijk zal inzien, moet de bolle zijde van den verlichten sikkel naar de zon gekeerd zijn en staat de lijn, die wij ons door de horens van den sikkel kunnen denken, loodrecht op de lijn, die de middelpunten van de zon en de maan vereenigt, terwij de hoek *cob* het verschil is in Lengte van de beide hemellichten. Men behoort de grootte van dezen hoek te kennen, om de phase te construeeren.

Bij nieuwe maan, is de maan geheel onzichtbaar. Kort daarna zal men haar echter als een smal verlicht streepje, even na het ondergaan der zon, in het Westen waarnemen. Vervolgens wordt met iederen dag de afstand tot de zon grooter en neemt het voor ons zichtbare gedeelte der maan aan den Westelijken kant toe. Van m tot m_4 heet de maan, om die reden, wassende te zijn.

Het donkere gedeelte van het naar ons gekeerde oppervlak der maan, is in vele gevallen nog waar te nemen. Zooals uit de beschouwing der

figuur gemakkelijk is op te maken, moet de aarde voor een maanbewoner, zich onder een tegengestelde phase vertoonen van die, welke de maan ons aanbiedt. Zien wij dus van het oppervlak der maan slechts een gering gedeelte verlicht, kan keert daarentegen de aarde, die de maan bovendien in grootte aanmerkelijk overtreft, een groot deel van haar verlicht oppervlak naar de maan en werpt op het donkere gedeelte van de laatstgenoemde een schijnsel, dat den naam van het aschgrauwe licht draagt.

Naar gelang het voor ons zichtbare en verlichte deel van de maan toeneemt, moet omgekeerd, voor een maanbewoner dat van de aarde afnemen, en bijgevolg een steeds kleiner wordende hoeveelheid licht naar de maan worden gekaatst. Dit, in verband met de grootere hoeveelheid licht, die de maan ons gaandeweg toezendt, is oorzaak, dat weldra de laatste de eerste zoodanig overtreft, dat het bovengenoemde verschijnsel al spoedig niet meer is waar te nemen.

Bevindt zich de maan in m_2, dan moet de afscheiding van licht en donker, uit A gezien, zich als een rechte lijn vertoonen, zoodat wij de maan voor de helft verlicht als m_2, fig. 77, zullen waarnemen. Het verschil in Lengte van zon en maan bedraagt dan ongeveer 90°, en de zon gaat ongeveer 6u vóór de maan door den meridiaan eener plaats. Deze phase heet het eerste kwartier. In den stand m_3 valt de projectie van het punt a in b, en de waarnemer in A ziet bijgevolg de geheele schijf der maan verlicht, met uitzondering van het kleine donkere gedeelte, dat buiten a uitsteekt. De maan zal zich vertoonen als m_3, fig. 77.

Staat de maan tegenover de zon, m_4, fig. 76, dan keert zij haar geheel verlicht halfrond naar de aarde, en wij zien haar als een verlichte schijf, m_4, fig. 77. De maan is dan vol, heet in oppositie of tegenstand ☍ te zijn, verschilt 180° in Lengte met de zon, en komt ongeveer 12u later dan deze in den meridiaan eener plaats.

Van m_4 tot m heet de maan af te nemen. In dit gedeelte van hare baan wordt namelijk het naar ons gekeerde oppervlak steeds voor een kleiner deel verlicht, en breidt zich achtereenvolgens aan den Westelijken kant der maan het donkere gedeelte meer en meer uit, zoodat zij in den stand m_6, of in het laatste kwartier weder voor de helft onzichtbaar is. Het verschil der Lengten van maan en zon bedraagt in dezen stand ongeveer 270°, en de maan gaat ongeveer te 6u des morgens door den meridiaan der waarnemingsplaats. De oppositie en de conjunctie der maan noemt men de syzigiën; eerste en laatste kwartier worden de quadraturen genoemd, terwijl de vier tusschengelegen standen door den naam octanten worden aangeduid.

m_5, m_6 en m_7, fig. 77, stellen de maan voor, zooals zij zich in de overeenkomstige punten, fig. 76, aan den waarnemer in A vertoont. Is de maan weder in den stand m gekomen, zoodat zij en de zon gelijke

Lengte hebben, dan heeft zij den synodischen omloop volbracht, en er verloopt dus tusschen twee achtereenvolgende tijdstippen van nieuwe maan een tijdruimte van ongeveer $29\frac{1}{2}$ dag.

Mocht men verlangen zich te overtuigen, of het verschijnsel der phase soms zou zijn toe te schrijven aan een bijzonderen vorm van de maan, waardoor wij, haar van verschillende kanten beziende, ook hare verschillende grenzen ontwaren, dan zal de volgende waarneming allen twijfel daaromtrent, zoo die mocht bestaan, opheffen.

Laat M, fig. 78, de maan, S een vaste ster en pq de richting zijn, waarin de maan zich aan den hemel verplaatst, dan zal na eenigen tijd de maan de ster bedekken en deze alzoo voor ons eenigen tijd onzichtbaar zijn. Is nu het geschaduwde deel der maan donker, dan ziet men de ster, als het punt a van de maan haar bereikt, plotseling verdwijnen, hetgeen het geval niet kon wezen, bijaldien de vorm der maan zich alleen bepaalde tot den sikkel. Immers zou in dat geval de ster eerst verdwijnen, als zij met het punt b in aanraking kwam. In welke richting zich nu ook de maan ten opzichte van die ster verplaatst, steeds komt het tijdsverloop, tusschen het verdwijnen en weder zichtbaar worden der ster, overeen met den tijd, dien zij zou besteden om de koorde van de cirkelvormige schijf te doorloopen, waardoor alzoo het bewijs geleverd wordt, dat wanneer wij de geheele cirkelvormige schijf der maan niet waarnemen, zulks alleen daaraan moet worden toegeschreven, dat niet alle deelen der schijf verlicht zijn.

Bij de beschouwing van de maan onder hare verschillende gestalten, wordt men als van zelf genoopt zijne aandacht te vestigen op de omstandigheid, dat de meer of minder donkere vlekken, die zich op de oppervlakte der maan vertoonen, altijd op dezelfde wijze gezien worden, zoodat een vlek, bv. in de richting van het middelpunt der maan waargenomen, zich nimmer, behoudens een kleine wijziging, buiten dat middelpunt vertoont.

De oorzaak van dit verschijnsel ligt hierin, dat de maan in denzelfden tijd, waarin zij hare beweging om de aarde volbrengt, om een as draait, die nagenoeg loodrecht staat op het vlak van hare baan. Staat b. v. de maan in M, fig. 79, en zien wij een vlek a juist in de richting van haar middelpunt, dan zou, bijaldien de maan geen beweging om hare as had, als zij in den stand M_1 gekomen is, de vlek zich in a_2 bevinden. Zien wij echter, in dien stand, de vlek weder in de richting van het middelpunt o, of in a_1, dan moet de maan in den tijd, dien zij heeft besteed om van M in M_1 te komen, een beweging om hare as van a_2 tot a_1 gemaakt hebben, en de gelijkheid der hoeken a_2oA en oAa, die onder deze omstandigheid bestaat, zal de juistheid der gemaakte opmerking staven.

Stond de as van de maan loodrecht op hare baan en bewoog zij zich om de aarde in een cirkel met een eenparige snelheid, dan zou er hoegenaamd geen verplaatsing der vlekken zijn op te merken. Zooals wij

echter weten, beschrijft de maan om de aarde een ellips met een niet eenparige snelheid, en dewijl hare as onder een hoek van nagenoeg 83°23′ op hare baan helt, zullen wij een kleine verplaatsing der vlekken kunnen opmerken, of anders gezegd, het van ons afgekeerde halfrond der maan, nu eens voor een klein gedeelte aan de eene, dan weder aan de andere zijde zien. Men noemt dit verschijnsel de **libratie** der maan.

Laat tot opheldering, bAb_2 het vlak van de maansbaan, fig. 80, A de aarde en M de maan zijn, en denken wij ons een vlek b in de richting van het middelpunt der maan gezien. Heeft nu de maan een halve wenteling om de aarde volbracht, doch bewoog zij zich niet om hare as, dan zou de vlek, als de maan in M_1 staat, zich in b_2 bevinden. Door de halve aswenteling, zal echter de vlek in dien tijd een halve parallel hebben beschreven, zich dus in b_1 vertoonen, en ten opzichte van het middelpunt een opwaartsche verplaatsing hebben ondergaan.

Omgekeerd, zal een voorwerp, dat wij op de oppervlakte der maan in den stand M_1 in de richting van het middelpunt waarnemen, als de maan in den stand M gekomen is, zich iets lager dan dat middelpunt vertoonen. De schijnbare verplaatsing, die alzoo de bedoelde voorwerpen door de helling van de as der maan ondergaan, wordt de **libratie in Breedte** genoemd, dewijl zij plaats heeft in een vlak, dat loodrecht staat op de loopbaan en dus nagenoeg loodrecht op de ecliptica.

Libratie in Lengte noemt men de zijdelingsche verplaatsing, die de vlekken ondergaan, ten gevolge van de niet eenparige beweging van de maan om de aarde, in verband met de volmaakt eenparige beweging om hare as. Zij, fig. 81, $mm_1m_2m_3$ het vlak van de maansbaan en A de aarde, dan zal de maan tot het doorloopen van de bogen mm_1 en m_3m meer tijds behoeven, dan tot het doorloopen van de bogen m_1m_2 en m_2m_3. Is de maan van m in m_1 gekomen, en heeft zij daartoe iets meer dan $\frac{1}{4}$ van haren omwentelingstijd besteed, dan zal de vlek a in dien tijd ook een weinig meer dan $\frac{1}{4}$ van den omtrek hebben doorloopen en mitsdien in a_1 zijn gekomen of zijdelings zijn afgeweken. Van m_1 tot m_2 beweegt zich de maan thans sneller. Na haren halven omloop volbracht te hebben, heeft ook een halve aswenteling plaats gegrepen, en de vlek zal zich in a_2 weder in de richting van het middelpunt vertoonen. Komt de maan in m_3, waartoe zij een weinig minder dan $\frac{1}{4}$ van den omloopstijd besteed heeft, dan heeft a_2 nog niet ten volle $\frac{1}{4}$ van den omtrek doorloopen; zij bevindt zich in a_3 en heeft nu voor den waarnemer in A een verplaatsing in tegengestelden zin van die in a_1 ondergaan. De bedoelde verplaatsing ontleent haren naam aan de omstandigheid, dat zij ongeveer plaats heeft in een richting evenwijdig aan de ecliptica.

De beschouwing der maan, van verschillende standplaatsen op het oppervlak der aarde, veroorzaakt mede een schijnbare verplaatsing der vlekken. Zij draagt den naam van **parallaktische libratie.**

c. *Eklipsen of verduisteringen.*

Een bijzonder verschijnsel wordt ons somtijds bij de volle maan daarin aangeboden, dat een grooter of kleiner deel van haar verlicht oppervlak voor eenigen tijd verduisterd wordt. Ook de zon verliest somwijlen, en wel tijdens de nieuwe maan, hare cirkelvormige gedaante voor eenigen tijd, wordt zelfs enkele malen voor eenige minuten geheel onzichtbaar, en beide hemellichten ondergaan hetgeen men een eklips of verduistering noemt.

De oorzaak van deze verschijnselen ligt voor de hand. Bevindt de maan zich, terwijl zij vol is, nabij het vlak der ecliptica, dus nabij een harer knoopen, dan moet de aarde, uithoofde van de nabijheid der maan, de lichtstralen van de zon geheel of gedeeltelijk onderscheppen en alzoo beletten, dat de maan behoorlijk verlicht wordt.

Bevindt zich de maan, tijdens de nieuwe maan, nabij de lijn, die de middelpunten van de zon en de aarde vereenigt, of wat hetzelfde is, ongeveer in het vlak der ecliptica, dan zal zij de lichtstralen van de zon geheel of gedeeltelijk onderscheppen, die beletten tot ons te komen en daardoor een zonsverduistering veroorzaken.

Bewoog zich de maan in het vlak der ecliptica, dan zou er bij elke nieuwe en volle maan een eklips plaats hebben. Zooals wij echter weten, beweegt de maan zich in een vlak, dat met de ecliptica een hoek maakt, en bij gevolg zal de Breedte van de maan, tijdens de oppositie of de conjunctie, binnen zekere grenzen moeten vallen, zal er een eklips ontstaan. Zal de maan zich te gelijker tijd in hare baan en in de nabijheid der ecliptica bevinden, dan moet zij in de nabijheid zijn van een harer knoopen, en de mogelijkheid van een eklips wordt alzoo in het algemeen bepaald door de voorwaarde, dat de knooplijn der maansbaan ongeveer op de zon gericht moet zijn, en de Breedte der maan daarbij zeker bedrag niet mag overtreffen.

d. *De mogelijkheid eener maaneklips.*

Denken wij ons de zon in Z, de aarde in A, fig. 82, dan zullen de zonnestralen door de aarde onderschept worden, en er vormt zich achter de aarde een schaduwkegel, waarvan de top T bepaald wordt door de snijding der raaklijnen TB en TC, zijnde de lichtstralen, die nog vrij langs de aarde heenstrijken.

Zal er nu een maaneklips plaats hebben, dan moet de maan in den bedoelden schaduwkegel treden, en wij hebben dus eerst te onderzoeken, hoever de top T van de aarde verwijderd is, ten einde dien afstand te vergelijken bij dien van de maan tot de aarde. Zij daartoe de 'straal

van de zon $ZB = R$, de straal van de aarde $AD = r$, beide loodrecht op de raaklijn TB, dan geven de rechthoekige driehoeken TDA en TBZ de evenredigheid:

$$TA : AD = TZ : ZB$$

of

$$TA : r = TZ : R$$

waaruit

$$TZ - TA : R - r = TA : r$$

en dus

$$TA = \frac{r}{R - r}(TZ - TA) = \frac{r}{R - r} AZ.$$

In aardstralen uitgedrukt, is

$$r = 1$$
$$R = 112$$
$$AZ = 24000 \text{ (gemiddeld)}$$

en wij hebben dus voor den afstand AT:

$$AT = \frac{24000}{111} = 216 \text{ aardstralen.}$$

Dewijl de maan, gelijk wij weten, ongeveer 60 aardstralen van ons verwijderd is, zoo moet zij altijd door den schaduwkegel gaan, bijaldien hare Breedte kleiner is dan de hoek MAT, indien namelijk M de maan beteekent, en de boog gEM op een afstand = 60 stralen, uit A als middelpunt beschreven is. Is de Breedte echter grooter, dan gaat zij onder of boven den kegel heen, doch blijft daarbij immer binnen den afstand TA.

Denkt men zich door het punt g een vlak loodrecht op TZ, dan snijdt dit vlak den kegel volgens een cirkel, welks straal nagenoeg onder den hoek EAg uit de aarde zal gezien worden. Om de grootte van dien hoek te bepalen, veroorloven wij ons de vooronderstelling, dat de maan de lijn TB, bij den stand M, in het punt E aanraakt. Wij hebben dan:

$$\text{hoek } EAT = \text{hoek } EAN - \text{hoek } NAg$$

en dewijl

$$\text{hoek } EAN = \text{hoek } AEB + \text{hoek } EBA$$

is, zoo wordt

$$\text{hoek } EAT = AEB + EBA - NAg.$$

Op zeer weinig na, is

hoek AEB de parallaxis der maan $= P$
hoek ABE „ „ „ zon $= p$
hoek $NAg = ZAB$ de halve middellijn der zon $= D$

en dus

$$\text{hoek } EAT = P + p - D.$$

Nemen wij voor deze grootheden hare gemiddelde waarden, dan is

$$\text{hoek } EAT = 57'40'' + 8'' - 16'1'' = 41'47''$$

en men ontwaart, dat de halve middellijn van den bedoelden cirkel, dien wij de schaduwschijf noemen, veel grooter is dan die van de maan. De maan kan zich dus geheel binnen den schaduwkegel plaatsen en alzoo een totale verduistering ondergaan.

In de praktijk substitueert men, om de grootte van de schijf voor een bepaald oogenblik te kennen, de overeenkomstige waarden voor P, p en D. Men vermeerdert echter de aldus gevonden halve middellijn met $\frac{1}{50}$ ter zake van den invloed des dampkrings en van de bijschaduw, die wij zoo dadelijk zullen leeren kennen.

Gaan wij thans na, binnen welke grenzen de Breedte der maan moet liggen, opdat de eklips mogelijk zij, dan hebben wij ons het vlak DTA, als dat van een Breedte-cirkel te denken, en de lijn TZ als de doorsnede van dat vlak met de ecliptica. De geocentrische Breedte van de maan op het oogenblik, waarop zij den schaduwkegel met haren rand aanraakt, wordt voorgesteld door den hoek MAT, en klaarblijkelijk is

$$\text{hoek } MAT = \text{hoek } TAE + \text{hoek } EAM.$$

Nu is hoek EAM, op onmerkbaar weinig na, de halve middellijn der maan, die wij d noemen, terwijl hoek TAE de hoek is, waaronder de straal van de schaduwschijf gezien wordt. Schrijven wij dus daarvoor de gevonden uitdrukking, dan komt:

$$\text{hoek } MAT = P + p - D + d$$

De grootste waarde, die deze grootheden kunnen bereiken is:

$$P = 61'27''; \quad p = 9''; \quad D = 16'18''; \quad d = 16'45'';$$

de kleinste daarentegen:

$$P = 53'53''; \quad p = 7''; \quad D = 15'45''; \quad d = 14'41'';$$

en wij verkrijgen dus voor de grootste Breedte der maan, waarbij zij nog den kegel kan aanraken:

$$61'27'' + 7'' + 16'45'' - 15'45'' = 62'34''$$

en voor de kleinste:

$$53'53'' + 9'' + 14'41'' - 16'18'' = 52'25'',$$

zoodat de eklips

zeker is, als de Breedte der maan, tijdens de oppositie, kleiner is dan 52'25";
twijfelachtig is, als de Breedte tusschen 52'25" en 62'34" valt;
niet mogelijk is, als de Breedte grooter is dan 62'34".

Treedt slechts een gedeelte van de schijf der maan in den kegel, dan heet de verduistering partieel; treedt zij daarin geheel, dan noemt men haar totaal.

De zonnestralen verlichten de geheele ruimte, die wij ons buiten de raaklijnen RQ en SP, fig. 83, kunnen denken. Tusschen deze raaklijnen zullen de punten, die binnen de hoeken QDT en PHT gelegen zijn, nog eenige lichtstralen opvangen en alzoo nog een weinig verlicht worden, terwijl binnen den hoek DTH geen zonnestralen kunnen doordringen en de zoogenaamde kernschaduw gevormd wordt. Binnen de hoeken QDT en PHT, heeft men de zoogenaamde bijschaduw. Deze hoeken zijn, zoo als uit de beschouwing der figuur blijkt, gelijk aan de hoeken, waaronder de middellijn van de zon uit de aarde gezien wordt.

De lichtstralen, die van de zon afkomstig zijn, vervolgen, zooals wij later zien zullen, hunne rechtlijnige richting niet, wanneer zij in den dampkring komen, die de aarde omgeeft, maar worden gebogen en convergeeren in punten van de lijn TA, die achtereenvolgens nader bij de aarde liggen, tot zeker punt K, zoodat de top van de eigenlijke kernschaduw zich veel minder ver uitstrekt dan het punt T. Gemiddeld bedraagt de afstand AK 42 aardstralen, en men zal dus inzien, dat de maan nimmer in de eigenlijke kernschaduw kan komen, en zelfs bij een totale verduistering nooit al haar licht verliest. Treedt de maan b. v. in een punt B in de bijschaduw, dan zal trapsgewijze haar licht afnemen, waarvan men echter in den regel weinig of niets waarneemt. Komt zij even binnen de lijn TD, dan ziet men een begin van verduistering, maar het is niet wel mogelijk het juiste tijdstip nader dan binnen 1' waar te nemen. Ook omtrent het einde der verduistering heerscht dezelfde onzekerheid.

Dewijl de maan zelve van licht beroofd wordt, moeten alle plaatsen op aarde, die de maan boven den horizon hebben, te gelijker tijd de maan verduisterd zien. Was het oogenblik, waarop de verduistering aanvangt of eindigt, met scherpte waar te nemen, dan zouden de maaneklipsen uitnemende hulpmiddelen zijn voor de Lengtebepaling van plaatsen op aarde, doch zooals wij opmerkten is het juiste oogenblik 1' of zelfs nog iets meer onzeker, en heeft men alzoo voor nauwkeurige bepalingen, naar andere hulpmiddelen moeten omzien.

Bij de beweging van de aarde om de zon, voert zij de maan met zich; de knooplijn der maan verplaatst zich daarbij nagenoeg evenwijdig aan zich zelve en moet dus in den loop van een jaar tweemaal op de zon gericht zijn, zoodat er dus tweemaal in dat tijdvak maaneklipsen kunnen plaats hebben. De verplaatsing echter, die de knooplijn ondergaat, en

waardoor zij in 18⅔ jaar de ecliptica rondloopt, is oorzaak, dat de tijdstippen der bedoelde verduisteringen niet juist 6 maanden verschillen.

e. Zonsverduisteringen.

De lichtstralen, die de zon naar de aarde zendt, en waardoor een waarnemer op het naar de zon gekeerde oppervlak der aarde haar kan zien, zijn besloten binnen den kegel PTQ, fig. 84. Komt de maan omstreeks de conjunctie in dien kegel, dan moet zij voor enkele plaatsen op aarde de zonnestralen opvangen, en de waarnemer, voor wien dit plaats heeft, zal de maan op de zonneschijf geprojecteerd zien, als een zwarte, geheel of gedeeltelijk cirkelvormige schijf.

Ten einde de verschillende gevallen, die zich hierbij kunnen voordoen, nader te beschouwen, kan men, even als bij de maaneklips is geschied, de lengte berekenen van den schaduwkegel, dien de maan achter zich werpt. Volbrengt men deze berekening, dan vindt men voor de grootste lengte des kegels 51100 en voor de kleinste 49000 D. mijlen. Nu is de kleinste afstand van de maan tot de aarde 48960, en de grootste 54640 D. mijlen en men zal dus inzien, dat, in het laatste geval, de top van den kegel de aarde niet kan bereiken.

Bereikt de schaduwkegel der maan de aarde, fig. 85, dan zullen de plaatsen op aarde, die binnen den cirkel ab gelegen zijn, de zon geheel door de maan zien bedekken, en er zal voor die plaatsen een totale zonsverduistering plaats hebben. De raaklijnen cQ en dP bepalen de grenzen, waarbinnen de plaatsen gelegen zijn, die de zon gedeeltelijk verduisterd zullen zien, terwijl voor de plaatsen buiten den cirkel gelegen, dien wij ons door c en d kunnen denken, geen eklips plaats heeft. De genoemde raaklijnen bepalen de grenzen van de bijschaduw.

Dewijl de maan, bij hare beweging om de aarde, een grootere hoeksnelheid heeft dan de zon, zoo zal de bedoelde kegel zich over de oppervlakte der aarde verplaatsen van het Westen naar het Oosten, en zullen er achtereenvolgens andere punten van de aardoppervlakte in de schaduw komen en de verduistering zien. Er bestaat dus tusschen een maan- en een zonneklips een gewichtig onderscheid. Bij de eerstgenoemde toch, wordt het verschijnsel door alle plaatsen, die op dat oogenblik de maan zien, tegelijkertijd waargenomen; bij de laatstgenoemde daarentegen zien slechts enkele plaatsen het verschijnsel, terwijl er voor die plaatsen bovendien nog verschil bestaat in de wijze, waarop het zich openbaart, en in den tijd van den dag, waarop dat gebeurt.

Bereikt de schaduwkegel der maan de aarde niet, dan vertoont zich de verduistering voor de plaatsen, die binnen den cirkel pq, fig. 86, gelegen zijn, op een merkwaardige wijze. Die plaatsen zullen namelijk de maan als een donkere schijf op de zonneschijf zien, doch deze zal niet geheel

door de maan bedekt worden, zoodat zich om de donkere schijf der maan een verlichte ring vertoont. Om deze reden draagt die verduistering den naam van ringvormige. Voor de andere plaatsen, die binnen den kegel der bijschaduw liggen, is de verduistering particël of gedeeltelijk.

f. De mogelijkheid eener zonneklips.

Onderzoeken wij thans, binnen welke grenzen de Breedte der maan moet vallen, opdat er een zoneklips kunne plaats hebben. Zij daartoe M de maan, fig. 84, A de aarde, Z de zon, PTQ het vlak van een Breedte-cirkel en TZ de doorsnede van dat vlak met de cliptica, dan is hoek MAZ de geocentrische Breedte der maan, voor het oogenblik waarop zij den lichtkegel in a aanraakt. Nu is

$$\begin{aligned} \text{hoek } MAZ &= \text{hoek } MAa + \text{hoek } aAZ \\ &= \text{hoek } MAa + \text{hoek } aAP + \text{hoek } PAZ \\ &= \text{hoek } MAa + \text{hoek } AaT - \text{hoek } APa + \text{hoek } PAZ. \end{aligned}$$

Bezigen wij dezelfde bekortingen, als bij de maaneklips, dan is

$$\text{hoek } MAZ = d + P - p + D,$$

waarbij in het oog moet worden gehouden, dat, ofschoon d, P, p en D hier volkomen voldoende zijn, streng genomen die hoeken niet door die grootheden worden voorgesteld, dewijl a niet is het raakpunt van aA aan de maan, en er in P niet één, maar twee raakpunten bestaan. Neemt men voor deze grootheden hare grootste en kleinste waarde, dan verkrijgt men voor de grootste en kleinste Breedte der maan, waarbij zij tijdens de conjunctie den kegel kan aanraken: $1°34'$ en $1°24$, en de zoneklips is mitsdien

zeker, als de Breedte der maan kleiner is dan $1°24'$;
twijfelachtig, als de Breedte valt tusschen $1°34'$ en $1°24'$;
niet mogelijk, als hare Breedte grooter is dan $1°34'$.

Zooals men ontwaart, zijn de grenzen voor de Breedte der maan, bij een zoneklips, ruimer dan bij een maaneklips, en de gelegenheid tot de eerstgenoemde zal zich dus meer voordoen, dan tot de laatstgenoemde. Op dezelfde plaats echter worden meer maan- dan zoneklipsen waargenomen, omdat er onder de plaatsen, die de zon tijdens een zoneklips boven haren horizon hebben, slechts betrekkelijk weinige zullen zijn, voor welke de eklips zichtbaar is.

De zoneklipsen kunnen met vrucht worden aangewend, om het Lengteverschil tusschen twee plaatsen op aarde te bepalen. Deze berekening kan ingericht worden, als die van een Lengteberekening door een maansafstand, waarover wij later handelen. De waargenomen afstand is in dit geval gelijk

aan de som van de schijnbare halve middellijnen van de zon en de maan. Refractie behoeft hierbij niet in aanmerking te worden genomen.

g. Sterbedekkingen.

Dewijl de maan dichter bij ons staat, dan eenig ander hemellicht, zal het kunnen gebeuren, dat zij zich tusschen een ster en den waarnemer plaatst en alzoo de ster bedekt. Denken wij ons den schaduwkegel, dien de maan met betrekking tot de lichtstralen, welke van de ster uitgaan, achter zich werpt, tot op de aarde verlengd, dan zullen alle plaatsen, binnen de kromme lijn gelegen, die de doorsnede van den bedoelden kegel en de aarde is, de ster bedekt zien. Door den overgrooten afstand echter, waarop de ster zich van ons bevindt, met betrekking tot den afstand van de maan tot de aarde, wordt de genoemde schaduwkegel een cilinder.

Ten gevolge van de beweging der maan, verplaatst zich de doorsnede van den cilinder met de oppervlakte der aarde aanhoudend, en achtereenvolgens zullen andere plaatsen het verschijnsel kunnen opmerken en de juiste oogenblikken waarnemen, waarop de ster verdwijnt en weder van achter de maan te voorschijn komt.. Even als de zoneklipsen, kunnen de sterbedekkingen voor de bepaling der Lengte van plaatsen op aarde worden aangewend, maar vordert dan natuurlijk een berekening. Door de parallaxis der maan toch, zal het verschijnsel, op twee verschillende plaatsen, niet op hetzelfde absolute oogenblik kunnen worden waargenomen. Een der rekenwijzen bestaat daarin dat men voor elke plaats, uit den tijd, waarop de bedekking aldaar is waargenomen, berekent, hoe laat het op die plaatsen geweest zou zijn, tijdens de conjunctie voor een waarnemer, die zich in het middelpunt der aarde bevindt. Het verschil dier tijden moet dan het Lengteverschil tusschen die beide plaatsen zijn. Ook deze berekening kan als een Lengteberekening door den afstand van de maan tot een ster worden ingericht. De waargenomen afstand is in dit geval gelijk aan de schijnbare halve middellijn der maan.

h. Ebbe en vloed

Dit verschijnsel, waaraan de maan het grootste aandeel heeft, wordt in het VII^{de} hoofdstuk van het II^{de} deel afzonderlijk behandeld.

d. DE PLANETEN.

Bij een aandachtige beschouwing van den hemel, gedurende eenige achtereenvolgende dagen of weken, bespeurt men, dat sommige hemellichten, ten opzichte van de hen omringende sterren, een plaatsverande-

ring ondergaan. Zooals wij weten, dragen die hemellichten den naam van planeten of dwaalsterren.

Let men tevens op de verplaatsing, die de bedoelde hemellichten ten opzichte van de zon ondergaan, dan bespeurt men, dat twee hunner zich nimmer verder dan tot op een bepaalden afstand van de zon verwijderen en haar daarna weder naderen. Deze planeten, binnen-planeten genoemd, dragen de bijzondere namen van Venus en Mercurius; de laatste is in Europa slechts zelden, in Oost-Indië in heldere nachten, als hij in zijne grootste elongatie is, altijd met het bloote oog waar te nemen.

Drie andere planeten: Mars, Jupiter en Saturnus, buiten-planeten genoemd, mede voor het bloote oog zichtbaar, verwijderen zich van de zon op alle mogelijke afstanden, terwijl weder andere, ofschoon voor het ongewapende oog onzichtbaar, ons dezelfde verschijnselen aanbieden. Van de laatst bedoelde planeten bedraagt thans het aantal reeds 211, welk aantal door nieuwe ontdekkingen gedurig vermeerderd wordt. Wij onderscheiden bij die buiten-planeten, de groote planeten Uranus en Neptunus, en de kleine planeten of Asteroïden, en komen daarop later terug.

1°. Verschijnselen der binnen-planeten.

Wanneer wij bij de beschouwing der verschijnselen, die de binnen-planeten ons aanbieden, ons alleen tot Venus, als de meest in het oog vallende, bepalen, dan merken wij bij haar het navolgende op.

1°. Zij bevindt zich bij haren op- en ondergang steeds in de nabijheid der zon. De streken van den horizon, waarin zij opkomt of ondergaat, zijn het geheele jaar door niet dezelfde, maar de punten, waarin zij den horizon snijdt, oscilleeren om het punt, waarin de zon opkomt en ondergaat.

Den eenen tijd komt zij kort vóór de zon op en gaat kort vóór haar onder; den anderen tijd geeft zij ons juist het omgekeerde verschijnsel, en op een breedte niet hooger dan die van Nederland vertoont zij zich bijna nimmer in het midden van den nacht (1).

In het eerstgenoemde geval, draagt zij ook wel den naam van Lucifer of morgenster, in het laatstgenoemde dien van Vesper of avondster.

---

(1) Als de zon 45° Lengte heeft, dus omstreeks 5 Mei, en Venus heeft hare grootste elongatie, b. v. in 1876, toen zij die grootste elongatie had 15 Mei, kan de planeet ook op onze breedte te middernacht zichtbaar zijn. Neemt men b. v. 6 Mei 1876, toen de declinatie van Venus was ♀ $d = 26°17'$ N, dan is in fig. 86^a. waarin de Zon in Z Venus in ♀ wordt voorgesteld:

2°. Ziet men heden de planeet kort na den ondergang der zon, dicht bij de kim, dan zal haar afstand van de zon den volgenden dag vergroot zijn, indien zij zich, met betrekking tot de sterren, in een Oostelijke richting verplaatst. Na verloop van eenigen tijd, wordt echter de snelheid, waarmede de planeet zich ten opzichte van de sterren verplaatst, kleiner, weldra wordt zij gelijk aan die van de zon, en dan heeft de planeet haren grootsten schijnbaren afstand van de zon bereikt. Nu wordt de snelheid van de planeet kleiner dan die van de zon, neemt eindelijk ten opzichte van de sterren geheel af, en de planeet schijnt met betrekking tot deze stil te staan. De zon nadert haar klaarblijkelijk.

De planeet wordt daarna teruggaande, d. i. zij verplaatst zich ten opzichte van de sterren in tegengestelden zin als waarin men rekent dat de rechte-opklimming toeneemt, of, zooals het wel eens genoemd wordt van het Oosten naar het Westen, haar afstand van de zon neemt merkbaar af, en weldra gaat zij in de genoemde richting de zon voorbij, waarbij zij zich somwijlen als een zwarte vlek op de zonneschijf vertoont. Komt de planeet aan den Westelijken kant van de zon, dan neemt hare teruggaande beweging gaandeweg af. Weldra schijnt zij ten opzichte van de sterren weder stil te staan; doch haar afstand van de zon wordt, door de beweging van het laatstgenoemde hemellicht, steeds grooter. Na dezen stilstand, neemt de planeet weder een beweging aan, die naar het Oosten gericht is; doch, dewijl de snelheid van de zon de hare nog overtreft, zoo wordt de afstand dier hemellichten steeds grooter, tot dat eindelijk de snelheid een gelijk bedrag heeft, en de planeet zich aan den Westelijken kant der zon op haren grootsten afstand van deze bevindt.

Van dit oogenblik af, begint de snelheid van de planeet die van de zon te overtreffen; zij nadert deze, en na haar te zijn voorbij gegaan, hetgeen men echter niet kan waarnemen, vertoont zij zich weder aan de Oostelijke zijde van de zon en herneemt alzoo den stand, dien de planeet bij den aanvang onzer beschouwing had, om de bovengenoemde verschijnselen, op dezelfde wijze, voortdurend te vertoonen.

3°. Bepaalt men dagelijks de declinatie en de rechte-opklimming der planeet, dan vindt men voor de eerstgenoemde een gedurig veranderlijke waarde, die nu eens Noordelijk, dan weder Zuidelijk is. De rechte-opklimming verkrijgt alle waarden van 0^u tot 24^u, doch is niet altijd

---

$$\text{Æ}♀ - \text{Æ}\odot = 3^u\,14^m\,14^s = 48^\circ 36' = A$$

$$\text{tang}\; ZQ = tg\; Z♀ \,.\, \cos ♀ZQ = \infty, \text{ dus } ZQ = 90^\circ$$

$$\text{tang}\; PQ = \text{tang}\; P♀ \,.\, \cos ♀PQ = \text{cotg}\; d \,.\, \cos A$$

Maar $ZQ = 90^\circ$ zie boven, en $ZP = 90^\circ - Q$, dus $PQ = Q$.

Uit de formule $\text{tang}\; Q = tg$ breedte $= \text{cotg}\; d \cos A$ vindt men de breedte $= 52^\circ 39'$.

Op dien datum is dus reeds te Nieuwe Diep Venus te middernacht zichtbaar geweest, staande in het N.W. nabij haren ondergang.

aangroeiende, maar neemt, zooals uit de vroeger genoemde verschijnselen te verwachten was, somtijds af, om na korten tijd weder aan te groeien. Berekent men uit deze grootheden de Breedte en Lengte der planeet, dan bespeurt men, dat de grootste Noorder-Breedte niet met de grootste Zuider-Breedte overeenkomt, en dat het verschil der Lengten op de tijdstippen, waarop de Breedte der planeet nul is, niet 180° bedraagt. Al dadelijk kunnen wij hieruit het besluit trekken, dat de loopbaan van Venus een hoek maakt met de ecliptica, en dat de aarde niet het middelpunt schijnt uit te maken, waarom de planeet zich beweegt, dewijl de lijn, waaronder het vlak van de loopbaan en de ecliptica elkander snijden, de knooplijn genoemd, niet door de aarde gaat.

4°. De planeet gaat nu eens vóór, dan weder na de zon, door den meridiaan en bereikt daarin niet altijd dezelfde hoogte.

5°. Zij vertoont zich, even als de maan, onder allerlei afwisselende schijngestalten. Bij haren grootsten hoeksafstand van de zon, is de helft van de schijf, waaronder zij zich vertoont, verlicht, en de bolle zijde van haar verlicht oppervlak steeds naar de zon gekeerd. Wordt de bedoelde afstand kleiner, dan neemt somtijds haar verlicht gedeelte toe, somtijds echter neemt het af, en nagenoeg in dezelfde richting als de zon gezien, vertoont zij zich nu eens als een geheel verlichte schijf, dan weder als een nauwelijks zichtbaar verlicht sikkeltje, of wordt soms geheel onzichtbaar. Onder deze verschillende gestalten, behoudt hare halve middellijn niet dezelfde waarde. Hoe grooter het verlichte deel der planeet is, des te kleiner wordt hare middellijn en omgekeerd, zoodat hare geheele helderheid voor het ongewapende oog weinig verandert.

Het onderscheid tusschen de verschijnselen, die de maan en een binnenplaneet ons aanbieden, is in het oogvallend, en wij mogen al dadelijk de gevolgtrekking maken, dat de laatstgenoemde zich niet om de aarde beweegt, maar even als de aarde, doch met een grootere snelheid om de zon wentelt en aan deze haar licht ontleent.

2°. Verschijnselen der buiten-planeten.

De buiten-planeten openbaren de navolgende verschijnselen:

1°. De punten van den horizon, waarin de planeet opkomt en ondergaat, wijken ter wederzijde van het Oost- en Westpunt af tot een bedrag, dat nagenoeg met de amplitudo der zon overeenkomt, doch keeren tot dezelfde streek terug binnen tijdvakken, die voor elke planeet verschillend van duur zijn.

2°. De planeet verwijdert zich van de zon, met een niet eenparige snelheid op afstanden van 0 tot 360°.

3°. Met betrekking tot de vaste sterren merkt men op dat de planeet de sterren, die Oostelijk van haar gelegen zijn, nadert. Somwijlen schijnt

zij echter de richting van hare beweging om te keeren en een teruggaande aan te nemen. Na eenige weken of maanden, herneemt zij hare Oostelijke richting, doch schijnt zich dan in een ander vlak te bewegen, dan dat, waarin zij zich vóór den teruggang bevond. Ook de binnen-planeten openbaren dit verschijnsel.

4°. Bepaalt men dagelijks hare declinatie en rechte-opklimming, dan bespeurt men, dat deze grootheden onregelmatig veranderen. De rechte-opklimming wordt somtijds van aangroeiende, afnemende en daarna weder toenemende, welk verschijnsel met het onder n°. 3 genoemde in nauw verband staat.

5°. Zij bereikt in den meridiaan, binnen een voor elke planeet verschillend tijdvak, een grootste en kleinste hoogte, waarbij zij echter niet veel van de grootste en kleinste hoogte der zon afwijkt.

3°. De elementen van de loopbaan der planeten.

Wanneer wij de declinatie en de rechte-opklimming van een planeet dagelijks bepalen en deze coördinaten op een globe overbrengen, dan verkrijgen wij een ingewikkelde kromme lijn, als wij de afgezette punten door een lijn vereenigen, omdat de plaats, die wij de planeet achtereenvolgens zien innemen, van hare eigen beweging en van de beweging der aarde om de zon afhangt. Herleidt men echter de beweging van de planeet tot de zon, dan wordt de zaak meer eenvoudig en wij willen dus nagaan, op welke wijze een planeet zich beweegt voor een waarnemer, dien wij ons in de zon geplaatst denken.

Zullen wij met juistheid over de beweging van een planeet oordeelen, en de verschijnselen, die zij ons aanbiedt, verklaren, dan moeten wij de elementen van hare loopbaan kennen. Deze zijn:

1°. de Lengte van den klimmenden knoop;
2°. de helling van de loopbaan;
3°. de lengte van de groote as, of de omloopstijd;
4°. de excentriciteit;
5°. de Lengte van het perihelium;
6°. de epoche.

Ziehier hoe men deze grootheden op elementaire wijze kan bepalen.

a. De Lengte van den klimmenden knoop.

De ligging van de lijn, volgens welke het vlak, waarin de planeet zich beweegt, de ecliptica snijdt, knooplijn genoemd, wordt bepaald door den hoek, dien de bedoelde lijn met de lijn der nachteveningen maakt. Noemen wij de uiteinden der knooplijn weder de knoopen, nader aangeduid door de benamingen van klimmenden knoop, ☊, voor het

punt, waarin de planeet van het Zuidelijk in het Noordelijk halfrond treedt, gerekend ten opzichte van de ecliptica, en van **dalenden** knoop, ☋, voor het tegengestelde punt, dan kan de bedoelde hoek, of de heliocentrische Lengte van den klimmenden knoop, ter bekorting door ☊ aangeduid, op de volgende wijze bepaald worden.

Zij, fig. 87, Z de zon, A de aarde en P de planeet op het oogenblik, waarop zij in ☊ is, dan kan men als bekend aannemen:

hoek $\gamma AZ = \alpha$ of de geocentrische Lengte der zon, $\alpha > 180°$;
hoek $\gamma AP = l$ „ „ „ „ „ planeet,

terwijl de Breedte der planeet nul is. Men kan namelijk uit het register der waarnemingen, nadat de declinatie en de rechte-opklimming van de planeet tot Breedte en Lengte herleid zijn, door interpolatie het juiste oogenblik bepalen, waarop de Breedte nul is, en mede door interpolatie de Lengte der planeet zoeken, die met dat oogenblik overeenstemt. In den driehoek AZP heeft men:

$$AZ : ZP = \sin APZ : \sin ZAP$$

of, als wij $AZ = r$ en $PZ = R$ stellen:

$$\frac{r}{R} = \frac{\sin APZ}{\sin ZAP}.$$

Voorts is

$$\text{hoek } APZ = \text{hoek } PO\gamma - \text{hoek } PA\gamma = ☊ -$$
$$\text{hoek } ZAP = \text{hoek } ZA\gamma + \text{hoek } PA\gamma = 360° - \alpha + l$$

welke waarden, in bovenstaande formule gesubstitueerd, haar doen overgaan in:

$$(I) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \frac{r}{R} = \frac{\sin(☊ - l)}{\sin(l - \alpha)}.$$

Bevindt zich de planeet op een volgend tijdstip weder in ☊, dan is de aarde van plaats veranderd, en de grootheden r, l en α zullen bijv. zijn overgegaan in r', l' en α'. De grootheden R en ☊ mogen wij als niet veranderd aannemen, dewijl wij door onze vroegere waarnemingen de tamelijk groote zekerheid hebben, dat de planeet om de zon loopt, terwijl latere waarnemingen het al of minder juiste der vooronderstelling zullen aanwijzen.

Wij hebben dus:

$$(II) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \frac{r'}{R} = \frac{\sin(☊ - l')}{\sin(l' - \alpha')}$$

en zijn thans in staat om uit de vergelijkingen (I) en (II), door elimi-

natie van R, de waarde van ☊ te berekenen, en ☊ kennende, ook R te bepalen.

Herhaalt men de berekening van ☊ voor eenige doorgangen der planeet, dan bevindt men, dat de Lengte van den knoop nagenoeg niet verandert. Bepaalt men op overeenkomstige wijze de Lengte van den dalenden knoop, dan ontwaart men, dat zij altijd met de eerstgevondene nagenoeg 180° verschilt en dat dus de knooplijn door de zon gaat.

b. De helling der loopbaan.

Dewijl de plaats, die de aarde voor een gegeven oogenblik in hare baan inneemt, bepaald kan worden, zoo zullen wij ook omgekeerd het oogenblik kunnen weten, waarop de heliocentrische Lengte van de aarde een bepaald bedrag heeft, en bijv. gelijk is aan die van den knoop, of waarop de aarde zich in A, fig. 88, in de knooplijn eener planeet bevindt. Zoeken wij vervolgens in het register van de Breedten en Lengten der planeet, door interpolatie, die coördinaten voor het gevonden oogenblik, dan zal, bijaldien P de planeet en P' hare projectie op de ecliptica is, de hoek $PAP' = \beta$ hare bekende geocentrische Breedte en hoek $♈AP' = l$ hare bekende geocentrische Lengte zijn.

Is voorts $Z☊$ de knooplijn, dan zullen wij, ter bepaling van de helling h van het vlak der loopbaan, gegeven hebben de doorsnede $Z☊$ en een punt P in het vlak, en bijgevolg den standhoek van de vlakken $P'A☊$ en $PA☊$ moeten zoeken. Beschrijven wij daartoe uit A als middelpunt, met willekeurigen straal, een bol, die den drievlakkigen hoek $PAP'☊$ volgens den bolvormigen driehoek abc snijdt, dan is hoek b de bedoelde hoek en dus de helling, terwijl hoek $a = 90°$, $ac = \beta$, en $ab = l - ☊$ zal zijn. Wij hebben dus

$$\text{tang}\, b = \text{tang}\, h = \frac{\text{tang}\, \beta}{\sin\,(l - ☊)}.$$

Herhaalt men deze bewerking, zoo dikwijls als de aarde zich in de knooplijn der planeet bevindt, dan zullen telkens β en l andere waarden hebben, doch voor h vindt men telkens nagenoeg hetzelfde bedrag, hetgeen aanduidt, dat de loopbaan in een plat vlak ligt, dat onder een nagenoeg standvastigen hoek op de ecliptica helt.

c. De hoek, dien de voerstraal der planeet met de knooplijn maakt, en de lengte van den voerstraal. Constructie van de loopbaan.

Zij in fig. 89, Z de zon, $Z☊$ de knooplijn van de planeet P, A de aarde, $A♈$ of $Z♈$ de lijn der nachteveningen en P' de projectie van P

op de eliptica, dan kunnen wij op de volgende wijze de grootte van den hoek ☊ $ZP = \varphi$ en de lengte R van den voerstraal ZP bepalen.

Beschrijven wij daartoe uit A als middelpunt, met willekeurigen straal, een bol, die den drievlakkigen hoek $MAPP'$ volgens den bolvormigen driehoek abc snijdt, en uit Z een bol, die door zijne doorsnede met den drievlakkigen hoek MZP ☊ den bolvormigen driehoek pqr vormt, dan is in driehoek abc

hoek $c = 90^0$
$bc = \beta$ de geocentrische Breedte der planeet,
$ca = (H - l)$ het verschil tusschen de heliocentrische Lengte H der aarde en de geocentrische Lengte l der planeet.

Deze driehoek geeft ons:

$$\text{tang } bac = \frac{\text{tang } \beta}{\sin (H - l)} \text{ en } \cos ab = \cos \beta \cos (H - l).$$

In driehoek pqr is

hoek pqr = hoek bac
hoek $qpr = h$ de helling van de loopbaan der planeet,
$pq = (H -$ ☊$)$ het verschil van de heliocentrische Lengte H der aarde en die van den knoop ☊,
$pr = \varphi$.

Nu hebben wij

$$\text{cotg } rp = \frac{\cos pq \cos qpr + \sin qpr \text{ cotg } pqr}{\sin pq}$$

of

$$\text{cotg } \varphi = \frac{\cos (H - ☊) \cos h + \sin h \text{ cotg } bac}{\sin (H - ☊)}$$

waaruit

$$\text{(A)} \quad . \; . \; . \text{ cotg } \varphi = \text{cotg } (H - ☊) \cos h + \frac{\sin h \sin (H - l)}{\text{tang } \beta \sin (H - ☊)}$$

en ook

$$\text{cotg } qr = \frac{\cos (H - ☊) \cos bac + \text{cotg } h \sin bac}{\sin (H - ☊)}.$$

In driehoek AZP hebben wij:

$$ZP : ZA = \sin ZAP : \sin APZ$$

of, als wij den afstand AZ, r noemen,

$$R : r = \sin ab : \sin (ab - qr)$$

waaruit

$$R = r \frac{\sin ab}{\sin (ab - qr)}.$$

helgeen ons, na ab en qr berekend te hebben, in staat stelt, R op te lossen, uitgedrukt in deelen van den afstand van de aarde tot de zon. De grootte van den hoek φ wordt ons door formule (A) gegeven.

Omtrent deze methode valt op te merken, dat zij meer nauwkeurige uitkomsten zal geven, wanneer de helling van de baan der planeet op de ecliptica groot is, dan wanneer zij klein is. Was de helling nul, en bewoog zich de planeet dus in de ecliptica, dan zou de bedoelde methode niet kunnen worden toegepast. Men bepaalt namelijk het punt P, waarin de lijn AP, die uit de aarde getrokken wordt, het vlak van de loopbaan snijdt. Naar gelang deze lijn het vlak onder een grooteren hoek snijdt, zal het snijpunt te beter bepaald worden; valt het vlak echter met de ecliptica te zamen, dan wordt er geen snijpunt gevormd. Ook de formules voor cotg φ en cotg qr duiden dit aan, dewijl voor het geval, dat de planeet zich in de ecliptica beweegt, h en β nul zijn, en de uitdrukkingen

$$\sin h \operatorname{cotg} bac = \tfrac{0}{0} \quad \text{en} \quad \operatorname{cotg} h \sin bac = \tfrac{0}{0}$$

dus geheel onbepaald worden.

Wil men zich door constructie een aanschouwelijke voorstelling van de baan der planeet geven, dan berekent men dagelijks de bovenbedoelde hoeken φ, zet die van een willekeurig aangenomen lijn ☊♈, fig. 90, uit en neemt op de beenen van die hoeken, afstanden ZV, ZV', enz. overeenkomende met de betrekkelijke lengte der voerstralen R, R', enz. op die tijdstippen. Vereenigt men dan de punten V, V', enz. door een kromme lijn, dan verkrijgt men voor de baan der planeet een ellips, waarvan de zon een der brandpunten inneemt. De groote as van deze ellips heet de lijn der apsiden, het dichtst bij de zon gelegen uiteinde het perihelium, het verst daarvan verwijderde punt het aphelium. Vergelijkt men de bogen onderling, die de planeet dagelijks aflegt, dan ziet men dat haar voerstraal in gelijke tijden gelijke perken doorloopt, en dat zij alzoo bij hare beweging de tweede wet van KEPPLER volgt.

Ook de vergelijking der groote assen van de loopbanen van twee verschillende planeten, met hare omloopstijden, waarover later, doet een hoogst gewichtige bijzonderheid kennen, namelijk, dat de vierkanten dier omloopstijden zich verhouden, als de derde machten van de halve groote assen der loopbanen. Deze wet wordt, naar den ontdekker, de derde wet van KEPPLER genoemd.

d. Lengte van de groote as, excentriciteit, Lengte van het perihelium, omloopstijd en epoche.

Wanneer men de Lengte van den klimmenden knoop en de helling van de loopbaan eener planeet kent, dan kan men, zooals wij gezien hebben, de lengte van den voerstraal R en den hoek φ, dien hij met

de knooplijn maakt, berekenen. Noemen wij den hoek, dien de groote as der loopbaan met de knooplijn maakt α, dan is, in de vooronderstelling dat de baan een ellips is, als wij de halve groote as a en de excentriciteit e noemen, volgens de polaire vergelijking der ellips,

$$R = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos(\varphi - \alpha)}.$$

Een tweede waarneming geeft:

$$R' = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos(\varphi' - \alpha)}$$

en een derde:

$$R'' = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos(\varphi'' - \alpha)}$$

uit welke vergelijkingen a, e en α kunnen worden opgelost.

Nauwkeuriger is het echter, om voor de bepaling van a van de derde wet van KEPPLER gebruik te maken.

Kent men de waarde van α, dan wordt de Lengte van het perihelium gemakkelijk gevonden door de verbinding van α met de Lengte van den klimmenden knoop.

Men brengt te dien einde het punt ♈ op de baan der planeet over, door in gedachten het vlak der baan om de knooplijn te bewegen en op dat van de ecliptica neêr te slaan, zoo als dat bij de beschrijvende meetkunst meermalen wordt in praktijk gebracht. Of wel, men denke zich een voerstraal aan dezelfde zijde van de lijn der nachteveningen gelegen, die een hoek maakt met de knooplijn gelijk aan de Lengte van den klimmenden knoop. Het uiteinde van dien voerstraal zal dan een denkbeeldig punt ♈' in de loopbaan der planeet zijn en de Lengte van het perihelium de hoek, dien de bedoelde voerstraal met de groote as maakt. Door de praecessie en de nutatie moeten de Lengte van den klimmenden knoop en die van het perihelium natuurlijk gedurig een kleine verandering ondergaan, welke echter met de beweging der planeet in geen verband staat.

Zoekt men het oogenblik, waarop $\varphi = \alpha$ is, dan verkrijgt men daardoor dat, waarop de planeet zich in het perihelium bevindt.

Dewijl de elementen van een planeet kleine veranderingen ondergaan, zoo behoort tevens daarbij opgegeven te zijn het tijdstip, waarvoor zij gelden. Men noemt dit de epoche, en kiest daartoe den 1sten Januari. Voor de hoofdplaneten is de genoemde datum van het jaar 1850 de epoche. Bij sommigen heeft de epoche de beteekenis van de heliocentrische Lengte der planeet op een bepaald oogenblik.

De tijd, die er verloopt tusschen twee doorgangen van de planeet

door hetzelfde punt van hare baan, draagt den naam van omloopstijd. Men onderscheidt daarbij

1°. den *tropischen* omloopstijd ten opzichte van het bewegelijke equinoctium;

2°. den *siderischen* omloopstijd, waarin de planeet tot hetzelfde punt des hemels terugkeert;

3°. den *anomalistischen* omloopstijd ten opzichte van het perihelium;

4°. den *draconitischen* omloopstijd ten opzichte van een der knoopen;

5°. den *synodischen* omloopstijd, waarbij de planeet een bepaalde richting met betrekking tot de zon herneemt.

Zijn de elementen van de loopbaan eener planeet bekend, dan kan men, met behulp der *anomaliën*, voor een gegeven oogenblik hare plaats in hare baan bepalen, en daaruit hare heliocentrische Breedte en Lengte afleiden. Is namelijk in fig. 91

hoek $PZS = v$ de ware anomalie der planeet S,
„ $♈Z☊ = ☊$ de Lengte van den klimmenden knoop,
„ $PZ☊ = \alpha$ de hoek, dien de knooplijn met de groote as maakt,
„ $S☊B = h$ de helling van de loopbaan,
$SB = \beta$ de heliocentrische Breedte der planeet,
$♈B = l$ de „ Lengte „ „

dan hebben wij in den rechthoekigen driehoek $S☊B$:

$$\sin SB = \sin S☊B \sin ☊S \quad \text{en} \quad \tan ☊B = \cos S☊B \tan ☊S$$

of

$$\sin \beta = \sin h \sin (v - \alpha) \quad \text{en} \quad \tan (l - ☊) = \cos h \tan (v - \alpha)$$

waardoor β en l gevonden kunnen worden.

Bij onze beschouwing hebben wij de *storingen*, die de planeten ondergaan, buiten rekening gelaten. De hemellichten, die ons zonnestelsel uitmaken, oefenen wederkeerig werkingen op elkander uit, waardoor de loopbaan van de planeet in grootte, vorm en ligging gewijzigd, en hare snelheid in die baan gedurig veranderd wordt. De voorspelling van de plaats, die een planeet op een gegeven oogenblik zal innemen, kan dus nimmer door zulke eenvoudige formules als de voorgaande worden gedaan; de oplossing van dat vraagstuk behoort daarentegen tot de meest ingewikkelde van de sterrekunde.

De door ons medegedeelde methode, om de elementen van de loopbaan eener planeet te bepalen, is niet die, welke men gewoonlijk daartoe aanwendt, dewijl men hierbij afhankelijk is van bepaalde standen van de planeet en de aarde. Wij hebben alleen willen aantoonen, op welke wijze de elementen ongeveer *kunnen* bepaald worden, en verwijzen voor meer bijzonderheden naar de werken over theoretische sterrekunde, waarin dit punt met de vereischte uitvoerigheid wordt behandeld.

4°. Verklaring van de verschijnselen eener binnen-planeet.

Hebben wij de beweging van de planeten leeren kennen, zooals die zich voor een waarnemer in de zon openbaart, dan is het niet moeilijk na te gaan, hoedanig zich hare beweging voor een waarnemer op aarde moet voordoen, en zullen wij dan tevens de verklaring erlangen van eenige der verschijnselen, die wij vroeger hebben opgenoemd.

Laat daartoe v, fig. 92, de binnen-planeet, a de aarde en Z de zon zijn, dan zal de cirkel vv_1v_2 de loopbaan der planeet, en aa_1a_2 de loopbaan van de aarde voorstellen. Staat de planeet in v, de aarde in a, dan ziet de waarnemer haar in de richting av, en geprojecteerd aan den hemel in een punt 1, waartoe wij in de andere figuur uit A een lijn $A1$ evenwijdig aan av trekken, en uit A als middelpunt. met willekeurigen straal, een cirkel PQ beschrijven, die de spheer voorstelt. Na verloop van eenigen tijd, hebben beide hemellichten zich volgens de richting van den pijl verplaatst, doch in denzelfden tijd zal de planeet, ter zake van de grootere hoeksnelheid, welke zij boven de aarde bezit, een hoek vZv_1 hebben doorloopen, die grooter is dan de hoek aZa_1, zoodat b. v. thans de planeet in v_1 en de aarde in a_1 staat. De richting waarin zij nu door den waarnemer gezien wordt, is a_1v_1; de projectie aan de spheer zal het punt 2 zijn, en de planeet zal zich dus voor den waarnemer van 1 naar 2, in een Oostelijke richting aan den hemel hebben verplaatst.

Dewijl de planeet, in de nabijheid van het punt v_1, hare baan doorloopt in een richting, die nagenoeg overeenkomt met die van de raaklijn uit de aarde aan de baan der planeet getrokken, zoo zal men zich kunnen voorstellen, dat omstreeks dit tijdstip de verplaatsing der planeet aan den hemel klein wordt, en dat de planeet schijnbaar moet stilstaan, zoodra de lijn a_1v_1 evenwijdig aan zich zelve verplaatst wordt, dewijl dan het punt 2 niet verandert. Zooals men zal inzien, moet dit een weinig verder plaats hebben, terwijl de aarde zich van a_1 tot in a_2, de planeet zich van v_1 tot in v_2 verplaatst. Bij den stand v_3, waarin de planeet tusschen de aarde en de zon, zich in de richting van de laatstgenoemde bevindt, heet zij in de benedenste conjunctie te zijn. Trekken wij verder $A3$ evenwijdig aan a_3v_3, dan is 3 het punt, waarin zij aan de spheer geprojecteerd wordt gezien, en zij zal dus, om van 2 in 3 te komen, een teruggaande beweging hebben aangenomen.

Bevindt de planeet zich na verloop van eenigen tijd in v_4, de aarde in a_4, dan zal de eerste hare teruggaande beweging tot in 4 aan de spheer hebben voortgezet, als wij namelijk $A4$ evenwijdig aan a_4v_4 hebben getrokken. Geschiedt nu de verplaatsing van de lijn $a\ v_4$ daarna evenwijdig aan zich zelve, dan zal de planeet weder tot stilstand zijn gekomen en weldra een vooruitgaande beweging aannemen. Door deze beweging komt

de planeet in de bovenste conjunctie, d. i. als b. v. de aarde in a_3 staat, in den stand v_6. Zij verliest zich dan in het zonlicht, en gaat gelijk met de zon onder of komt met haar op. De hoek, waaronder de richtingen van de zon en de planeet uit de aarde gezien worden, draagt den naam van elongatie. Hij bereikt zijne grootste waarde, als de planeet gezien wordt volgens de raaklijn, die wij ons uit de aarde aan de baan der planeet getrokken kunnen denken. Deze grootste waarde is echter voor verschillende tijdstippen veranderlijk, dewijl de banen van de planeet en de aarde elliptisch zijn. Bij Venus bedraagt de gemiddelde waarde der grootste elongatie omstreeks 45° à 46°, bij Mercurius 22½°.

Fig. 93 geeft ons een aanschouwelijke voorstelling van de wijze, waarop de grootte van de halve middellijn van Venus, in verband met hare schijngestalten, moet afwisselen. Denken wij ons namelijk de aarde in A, de zon in Z en de planeet achtereenvolgens in de punten V, V_1, V_2, enz. dan mogen wij de aarde in rust vooronderstellen, omdat wij alleen met de betrekkelijke standen van de planeet ten opzichte van de zon te maken hebben. Men verwarre echter hierbij den tijd, dien de planeet besteedt om tot dezelfde phase terug te keeren, niet met haren omloopstijd om de zon.

Staat de planeet in V_6, dan keert zij haar geheel verlicht halfrond naar de aarde; zij is in dien stand op den grootst mogelijken afstand van de aarde verwijderd. Komt zij achiereenvolgens nader tot in V, dan zal haar verlicht gedeelte, dat immer naar de zon gekeerd is, zich van de aarde afwenden, zoodat in den stand V de Westelijke helft der schijf verlicht, de Oostelijke daarentegen donker zal zijn. Dewijl echter haar afstand van de aarde verminderd is, zoo zal hare middellijn sterk zijn toegenomen, en vertoont zij zich in dien stand onder zeer helder licht. Van den stand V tot in de benedenste conjunctie, wordt het verlichte gedeelte der schijf gaandeweg minder zichtbaar en in de conjunctie verdwijnt dit geheel, tenzij voor onze streken de Z.Breedte der planeet 1° zij, in welk geval Venus even zichtbaar is. Weldra wordt nu aan de Oostelijke zijde der planeet het verlichte gedeelte zichtbaar, hetgeen toeneemt tot dat zij zich in V_3 weder als een voor de helft verlichte schijf aan ons oog voordoet.

Gedurig neemt de verlichte oppervlakte toe, doch hare middellijn vermindert, en na gemiddeld 584 dagen, als Venus in de bovenste conjunctie is teruggekomen, vertoont zij ons weder haar geheel verlicht halfrond.

Volgens DELAMBRE, is de helderheid van Venus het grootst, als hare elongatie 39°43′, en de hoek ZVA 117°55′ bedraagt.

Ook Mercurius vertoont ons schijngestalten, even als Venus, doch keert, wegens de grootere excentriciteit zijner loopbaan, tot dezelfde phase niet zoo regelmatig terug als deze, dewijl de tijd, dien Mercurius daartoe besteedt, tusschen 106 en 130 dagen afwisselt.

5°. Verklaring van de verschijnselen eener buiten-planeet.

Laat Z, fig. 94, de zon, a, a_1, enz. eenige standen der aarde, p, p_1, enz. die van de planeet zijn op dezelfde tijdstippen. Men herinnere zich, dat de hoeksnelheid van de aarde die van de planeet overtreft. Bevindt zich de aarde in a, de planeet in p, dan zal de richting, waarin deze aan de spheer geprojecteerd gezien wordt, worden voorgesteld door de lijn $A1$ in de andere figuur, indien men uit A als middelpunt, met een willekeurigen straal, een cirkel RQ beschrijft en $A1$ evenwijdig aan ap trekt.

Heeft de aarde zich in zeker tijdsbestek verplaatst tot in a_1, en de planeet tot in p_1, dan wordt deze gezien in de richting a_1p_1, dus aan de spheer in het punt 2, als $A2$ met de genoemde richting evenwijdig loopt. Zijn vervolgens de beweging van de aarde en die van de planeet zoodanig, dat de lijn a_1p_1 evenwijdig aan zich zelve verplaatst wordt, dan verandert het punt 2 niet, en de planeet moet schijnen stil te staan, terwijl zij een vooruitgaande beweging van 1 tot 2 heeft gehad. Staat de aarde in a_2, de planeet in p_2, dan wordt deze in de richting $A3$ gezien en zij heeft mitsdien een schijnbaar teruggaande beweging van 2 tot 3 aangenomen, welke teruggang aanhoudt tot dat de lijn a_4p_4, wanneer de aarde in a_4 en de planeet in p_4 is, weder evenwijdig aan zich zelve verplaatst wordt. In het punt 5 zal stilstand schijnen te bestaan. Na dezen stilstand, neemt de planeet weder een vooruitgaande beweging aan.

Staat de aarde in a_3, de planeet in p_3, dan is de laatstgenoemde in *oppositie*, en bevindt zich ongeveer in het midden van haren teruggang. Staat echter de aarde op dat oogenblik in a_6, dan heet de planeet in *conjunctie* te staan.

Neemt men nog in aanmerking, dat de aarde en de planeet zich in verschillende vlakken bewegen, dan zal men inzien, dat de projectiën 1, 2, 3, enz. nu eens boven, dan weder onder den cirkel RQ vallen, en dat dus de planeet een kronkelende lijn aan den hemel moet schijnen te beschrijven.

6°. De overgangen van Venus voorbij de zon.

Bevindt zich *Venus*, tijdens de benedenste conjunctie, in de nabijheid van een der knoopen van hare loopbaan, en alzoo zeer nabij het vlak der ecliptica, dan zal men haar als een donker schijfje de zon zien voorbijgaan.

Van den vóórlaatsten overgang, die in het jaar 1769 plaats had, heeft men gebruik gemaakt, om de parallaxis van de zon te bepalen met een nauwkeurigheid, die alle vroegere bepalingen dienaangaande verre overtrof. Ziehier van welk beginsel men daarbij is uitgegaan.

Laat A, fig. 95, de aarde, V de planeet Venus en Z de zon zijn. Denken wij ons, voor de eenvoudigheid, de middelpunten dier lichamen op een rechte lijn, een waarnemer in het middelpunt A, en een tweeden waarnemer B in het vlak van den Breedte-cirkel der planeet. Blijkbaar zal nu op het oogenblik, waarop de waarnemer in A de planeet op de zon in a geprojecteerd ziet, B haar ergens in b zien. De verplaatsing ab, die Venus voor den laatstgenoemden waarnemer met betrekking tot het middelpunt der zon schijnt te hebben ondergaan, wordt veroorzaakt door het verschil der parallaxen van de beide hemellichten. De afstand ab wordt namelijk bepaald door den hoek aBb, en dewijl wij hebben:

$$\text{hoek } aBb = \text{hoek } AVB - \text{hoek } AaB$$

zoo is, als wij dien hoek φ en de bedoelde parallaxen P en p noemen,

$$\varphi = P - p.$$

Noemen wij verder

p_0 de gemiddelde parallaxis van de zon bij een afstand $= 1$,
R den voerstraal van de aarde,
r den voerstraal van Venus,

dan is

$$p = \frac{p_0}{R} \quad \text{en} \quad P = \frac{p_0}{R - r}$$

dus

$$\varphi = \frac{p_0}{R - r} - \frac{p}{R}$$

waaruit

$$p_0 = \varphi\left(\frac{R^2 - rR}{r}\right) = \varphi\,\frac{R^2}{r}\left(1 - \frac{r}{R}\right).$$

Nu kunnen, voor het oogenblik der waarneming, de betrekkelijke lengten der voerstralen van de aarde en van Venus uit de elementen harer elliptische loopbanen worden berekend. Is b. v., zooals voor den overgang van 1769 het geval was,

$$\log R = 0{,}0065302$$
$$\log r = 9{,}8610503 - 10$$

dan vindt men:

$$p_0 = 0{,}40394\ \varphi$$

en men zal dus, als φ bekend is, ook p_0 kunnen vinden.

Om φ te bepalen, redeneert men aldus. Zij T het oogenblik, waarop de waarnemer in A de aanraking van de planeet en de zon ziet aan-

vangen, T' dat, waarop de bedoelde aanraking aan den anderen rand eindigt, dan is $T' - T$ het tijdsverloop, waarin het verschijnsel van den overgang voor dien waarnemer zichtbaar was.

Voor den waarnemer in B, is uit den aard der zaak de duur van den overgang korter. Noemen wij het tijdsverloop tusschen de eerste en de laatste aanraking voor dien waarnemer V, dan is $(T' - T) - V$ het verschil der waargenomen tijdvakken. Dit verschil wordt, zooals men lichtelijk zal inzien, veroorzaakt door de betrekkelijke parallaxis der beide hemellichten, en wij kunnen dus in het algemeen stellen:

$$T' - T = V + \alpha\varphi$$

waarin α een coëfficient is, afhangende van de ligging der waarnemingsplaats B en van den stand van Venus, ten opzichte van de aarde en van de zon, die met behulp van een aangenomen waarde voor de parallaxis van de zon berekend kan worden.

Voor een andere waarnemingsplaats, vindt men op soortgelijke wijze:

$$T' - T = V' + \alpha'\varphi$$

en uit de verbinding dier waarnemingen:

$$V + \alpha\varphi = V' + \alpha'\varphi$$

waaruit

$$\varphi = \frac{V' - V}{\alpha - \alpha'}$$

en dus ten slotte

$$p_0 = \frac{V' - V}{\alpha - \alpha'} \cdot \frac{R^2}{r}\left(1 - \frac{r}{R}\right)$$

Wij hebben getracht in algemeene trekken het denkbeeld aan te geven, hetwelk DELAMBRE in zijn Astronomie théorique et pratique, Deel II, Hoofdstuk XXVII, tot grondslag heeft aangenomen, bij zijn uitvoerige behandeling van dit onderwerp. De horizontale parallaxis van de zon, door dien geleerde nit de verschillende waarnemingen naar het genoemde principe afgeleid, is 8″,6.

Een andere door ENCKE in praktijk gebrachte methode bestaat hierin, dat men eerst den duur van het verschijnsel voor het middelpunt der aarde bepaalt, vervolgens onder het aannemen van een parallaxis van de zon, van zeker bedrag, den duur voor een plaats op het oppervlak daaruit afleidt, en ten slotte uit de vergelijking van de waargenomen en de berekende tijdsverloopen, tusschen het begin en het einde van het verschijnsel, op de laatstgenoemde plaats, tot de fout in de aangenomen parallaxis besluit.

Volgens deze manier, vond ENCKE, door de verbinding van al de waar-

nemingen, die tijdens de overgangen van Venus in 1761 en 1769 waren geschied, voor de parallaxis der zon 8",57116 en daaruit voor den afstand van de aarde tot de zon gemiddeld 20682329 geographische mijlen (1).

De nauwkeurigheid van het resultaat hangt af van de keuze der waarnemingsplaatsen. Deze behooren zoodanig te worden genomen, dat de uitwerking van de parallaxis zich zoo sterk mogelijk openbaart, terwijl de juistheid van de waarneming in de verschillende plaatsen geevenredigd is aan de scherpte, waarmede de oogenblikken worden gevat, waarop de rand van de planeet den uitwendigen en inwendigen rand van de zonneschijf aanraakt.

De laatstvoorgaande overgang van Venus had den 9den December 1874 plaats.

Toen is door alle zeevarende natiën van Europa en door Noord-Amerika aan de ernstige waarneming van het verschijnsel deelgenomen, en werd o. a. in den Indischen Archipel door de etat-majors van 15 onzer oorlogschepen, liggende op elf verschillende plaatsen onzer bezittingen, de waarneming verricht (2). Geleerden van alle natiën waren op verschillende punten van den aardbol gestationneerd, om op de meest voordeelige wijze van de waarneming partij te trekken.

Om dit duidelijk te maken, vermelden wij hier alleen dat men twee methoden bij waarnemingen van den overgang van Venus kan volgen: 1°. die van HALLEY, 2°. die van DELISLE. De eerste geldt alleen voor plaatsen, waar zich den ingang en den uitgang laten waarnemen. De tijd, tusschen intrede en uitgang verloopen, geeft, met de bekende beweging der planeet, de koorden, die de planeet over de zonneschijf aflegde, en den afstand dier koorden tot het middelpunt der zon. Volbrengt men die bepaling op twee ver van elkander verwijderde plaatsen, dan kan men het verschil der parallaxen van de zon en de planeet, en omdat hare verhouding nauwkeurig bekend is, die parallaxen zelve daaruit afleiden.

Bij deze methode is de zeer nauwkeurige kennis van de geographische ligging der plaatsen geen vereischte, maar voor hare toepassing moeten twee plaatsen op aarde worden uitgekozen, waar zich ingang en uitgang beide laten waarnemen, en voor welke de koorden zooveel mogelijk van elkander verschillen.

De methode van DELISLE dient voor plaatsen waar alleen de ingang of de uitgang kan worden waargenomen. Is een dier verschijnselen op twee plaatsen der aarde geobserveerd, dan leidt men daaruit, door middel der bekende beweging van de planeet, de punten met betrekking tot den rand der zon af, die de planeet uit beide plaatsen gezien, op het-

(1) Men zie over deze methode: BRÜNNOW, Lehrbuch der sphaerischen Astronomie, 2te Ausgabe, s. 413.

(2) Zie hierover de verslagen uitgegeven bij C. G. VAN DER POST te Amsterdam in 1876.

zelfde oogenblik innam. Dit geeft weder het verschil der parallaxen en dus de parallaxen zelve. Bij deze methode is een nauwkeurige kennis van het Lengte-verschil der plaatsen van waarneming noodig, en tot hare toepassing moet men twee toegankelijke plaatsen op aarde uitkiezen waarvan bij de eene het verschijnsel door de parallaxis zooveel mogelijk wordt vervroegd, terwijl het voor de andere plaats zooveel mogelijk wordt vertraagd.

De omstandigheden moeten dus bepalen, welke methode bij een bepaalden overgang de voorkeur verdient.

Uit de jongste waarnemingen der Engelschen is door Airy afgeleid, dat de zons-parallaxis = 8″,407 tot 8″,933 is, of gemiddeld = 8″,739, gevende een afstand van 23330250 geogr. mijlen.

De in de vier volgende eeuwen te wachten overgangen zullen plaats hebben 6 December 1882, 8 Juni 2004, 6 Juni 2012, 11 December 2117, 8 December 2125, 11 Juni 2247, 9 Juni 2255.

Bij den laatsten overgang in 1874 werd veel gebruik gemaakt van de photographie. Daar de zon echter altijd een zeer moeilijk te photographeeren lichaam is en de undulatie der verwarmde lucht dicht boven de aarde maakt, dat de zonsrand en ook de buitenrand van Venus zeer moeilijk zuiver waarneembaar zijn, terwijl de doorschijnendheid van de atmospheer zeer ongelijk is, zal het afmeten van den weg dien Venus over de zon aflegde, op de photographiën steeds aan groote moeilijkheden onderhevig blijven. Het uitwerken van al de verkregen gegevens is dan ook thans nog niet afgeloopen (April 1880).

De overgang in 1882 zal bijna geheel in Noord-Amerika zichtbaar zijn, behalve in sommige deelen in of nabij den poolcirkel. Het begin zal zichtbaar zijn in een groot deel van Afrika, en het einde in bijna de geheele Stille Zuidzee, zoodat de voor de waarneming gunstigst gelegen stations in de Oostelijke en Midden Staten van Noord-Amerika te vinden zijn.

Ook bij Mercurius kunnen wij somtijds overgangen voorbij de zonneschijf waarnemen, doch deze kunnen voor de bepaling van de parallaxis der zon niet met vrucht worden aangewend. De geringe afstand toch tusschen Mercurius en de zon maakt, dat het verschil der parallaxen van die hemellichten slechts ongeveer 9″ is. Dewijl nu de nauwkeurigheid van het resultaat, dat men zoekt, geheel afhangt van die, waarmede het genoemde verschil bepaald wordt, en dewijl de betrekkelijke invloed van de onvermijdelijke fouten te grooter is, naarmate de grootheid, die waargenomen wordt, kleiner is, zoo zal de waarneming van de bedoelde overgangen voor de bepaling der parallaxis van de zon, verre bij die van Venus achterstaan. Hierbij komt nog, dat de snelheid van Mercurius veel grooter is dan die van Venus, en dus een kleine fout bij de eerste, in het waarnemen van de aanrakingen der randen, van veel meer invloed

is, dan dezelfde fout bij de laatstgenoemde. Geeft een fout van één secunde, in den bedoelden tijd, bij Venus een overeenkomstige fout in de parallaxis der zon van 0",026, dan veroorzaakt zij bij Mercurius een fout van 0",16.

7°. Opgaaf van eenige bijzonderheden betreffende de planeten.

a. Vulcanus.

Reeds lang dacht LEVERRIER dat er tusschen Mercurius en de Zon nog een planeet moest zijn, ook ten gevolge van de storingen, die in de beweging van Mercurius werden waargenomen. Men hoopte haar in October 1877 te zien, en WEBER gaf op dat hij haar had waargenomen, maar het bleek dat door hem slechts een zonnevlek was gevolgd. Dat de beschouwingen op een valschen grondslag berustten, werd door de photographische opmetingen van JANSSEN aangetoond; men moest dus opnieuw beginnen.

Nu werd als basis aangenomen, vijf goed waargenomen overgangen, namelijk van October 1802, October 1839, Maart 1849, Maart 1859 en Maart 1862, en hieruit een formule samengesteld, waaraan ook, naar HIND aantoonde, de overgang van 1819, zooals hij door STARK was waargenomen, voldeed.

Men dacht dat den 22 Maart 1877 de planeet weder in conjunctie met de zon zoude zijn, maar men kende noch de epoche van den knoop, noch de helling op de zonsbaan. LEVERRIER berekende de tijden en de omstandigheden waaronder het mogelijk zijn zoude, den overgang der planeet voorbij de zon te zien. Hij noodigde de sterrenwachten in Europa en Amerika uit om den 21, 22 en 23 Maart 1878 de zon goed waar te nemen, ten einde, zoo mogelijk, bij den overgang de nieuwe planeet, die hij reeds Vulcanus noemde, te ontdekken. LEVERRIER beleefde deze ontdekking niet, maar 29 Juli 1878 is door den astronoom WATSON, in Michigan, bij de waarneming van de laatste zonsverduistering, de planeet waargenomen als een ster van de vierde grootte.

Volgens NEWCOMB moet echter de beweging van het perihelium van Mercurius, welke 40" in een eeuw meer bedraagt dan uit den invloed der algemeene aantrekkingskracht van alle planeten op Mercurius zoude blijken, niet toegeschreven worden aan één planeet, binnen Mercurius zich bewegende, maar aan een groot aantal kleine planeetjes, die echter onmogelijk waarneembaar zijn en zich zelfs bij de totale zoneclipsen nog niet hebben vertoond. Het bestaan dier planeet of planeten blijft dus nog een onopgelost vraagstuk.

b. Mercurius.

De synodische omloop van deze planeet geschiedt in 115,88 dagen, haar siderische omloop in 87,97 dagen.

De excentriciteit der loopbaan, uitgedrukt in deelen van de halve groote as der loopbaan, bedraagt 0,2056.

De grootste elongatie bedraagt gemiddeld 22°,5. Ten gevolge van de excentriciteit van de loopbaan van Mercurius, in verband met die van de aarde, wisselt de grootste elongatie af, tusschen $16\frac{1}{4}$° en $28\frac{3}{4}$°.

Door den veranderlijken afstand, waarop de planeet zich van de aarde bevindt, is hare middellijn zeer veranderlijk. Terwijl deze op den gemiddelden afstand, die gelijk is aan den middelbaren afstand van de aarde tot de zon, 6",6 bedraagt, wisselt zij af tusschen 4",6 en 11",7. Deze gegevens zijn naar de metingen van KAISER, die zonder twijfel de nauwkeurigste zijn.

De omwentelingstijd van Mercurius om zijne as is geheel onbekend. Vroegere waarnemers hebben daaromtrent wel resultaten medegedeeld, zooals SCHRÖTER ($24^u5^m28^s$), maar latere waarnemers, met de beste kijkers voorzien, zijn er niet in geslaagd vlekken op de oppervlakte van Mercurius te vinden, duidelijk genoeg, om er den omwentelingstijd mede te bepalen. De stand van de as, ten opzichte van het vlak der loopbaan, is nog niet met juistheid bepaald.

De nabijheid van de zon, waarin de planeet immer door ons gezien wordt, zelfs bij hare grootste elongatie, is oorzaak, dat zij uiterst zelden voor het bloote oog zichtbaar is.

c. Venus.

De synodische omloop van Venus geschiedt in 584, haar siderische omloop in 224,7 dagen.

De excentriciteit van hare loopbaan is minder dan 0,007, en de loopbaan mitsdien nagenoeg cirkelvormig.

De grootste elongatie is gemiddeld 45° à 46°. De middellijn der planeet is bij de bovenste conjunctie 10", bij de benedenste daarentegen 62" en somtijds 76". Bij haren gemiddelden afstand van de aarde (zie boven) bedraagt de middellijn naar KAISER 17",5.

Volgens SCHRÖTER, wentelt zij in den tijd van $23^u21^m7^s$,98 om hare as. Latere onderzoekingen van BEER en MÄDLER en nog latere van DE VICO, geven echter daarvoor 23^u15^m. De helling van de as op het vlak van de loopbaan bedraagt volgens sommigen 75°; omtrent al deze bepalingen geldt echter dezelfde opmerking als bij Mercurius gemaakt is.

Venus vertoont zich aan ons oog als een zeer heldere ster van bij-

zonderen glans. Staat Venus ver genoeg van de zon af, is zij dus niet ver van hare grootste elongatie, dan is zij zeer goed over dag voor het bloote oog zichtbaar, mits men eerst naga waar men haar zoeken moet.

d. Mars.

De buiten-planeet, die het dichtst bij de zon staat, draagt den naam van Mars. Haar synodischen omloop volbrengt zij in 780, den siderischen in 686,98 dagen.

De excentriciteit van de loopbaan der planeet is ongeveer 0,0933.

De middellijn van Mars is aan groote afwisseling onderhevig, dewijl de afstand tusschen de planeet en de aarde, naar gelang zij in oppositie of in conjunctie is, aanzienlijk verschilt. Door de excentriciteit van de loopbanen der genoemde lichamen, kan nog de afstand, op de genoemde tijdstippen, den eenen tijd aanmerkelijk van dien op een anderen tijd verschillen. Bij den gemiddelden afstand van de planeet tot de aarde tijdens de oppositie, gaat het bedrag der middellijn 16″ niet te boven; dit neemt bij de conjunctie af, tot 3″,7. In 1830, kort na de oppositie, was de middellijn 22″.

Omtrent de phases van Mars valt op te merken, dat zij in de algemeene beteekenis, die wij daaraan vroeger gehecht hebben, niet zijn waar te nemen. Alleen bespeurt men, met behulp van een goeden kijker, dat wanneer de planeet in quadratuur is, ongeveer $\frac{1}{4}$ van hare schijf donker is. Dit donkere gedeelte neemt echter af, naarmate de planeet tot het punt nadert, waarin zij in oppositie of in conjunctie komt, en verdwijnt aldaar geheel en al. Mars wentelt in den tijd van $24^u37^m22^s,7$ om een as, die onder een hoek van 61°9′ op de elliptische, of wel onder een hoek van 62°41′ op hare eigene baan helt.

De planeet vertoont zich aan het bloote oog onder een rooden gloed, doch met een veranderlijke helderheid, hetgeen voortvloeit uit de verschillende afstanden, waarop de planeet zich van ons bevindt. In Januari 1882 en Februari 1884 zal de planeet in oppositie zijn; zij komt dan op als de zon ondergaat, en is den geheelen nacht zichtbaar. Men vindt de opvolgende tijden van oppositie, door bij den vorigen 2 jaren en 2 maanden te voegen, behalve in de lentemaanden, wanneer men slechts 2 jaren en één maand er heeft bij te voegen.

Door een kijker gezien, vertoont zij een menigte donkere vlekken, benevens twee zeer helder witte, cirkelvormige vlekken, die de poolstreken der planeet bedekken. De laatstgenoemde, sneeuwvlekken genoemd, wisselen in grootte regelmatig af en hebben de waarnemers tot de meening geleid, dat het inderdaad sneeuw- of ijsvelden zijn, dewijl het grooter en kleiner worden der bedoelde vlekken in nauw verband staat met de jaargetijden, die op Mars moeten heerschen.

e. De asteroïden.

Onder deze benaming verstaat men de groep kleine, voor het bloote oog onzichtbare planeten, die zich tusschen Mars en Jupiter om de zon bewegen.

Waren Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Saturnus reeds van de vroegste tijden af bekend, eerst in het jaar 1781 ontdekte HERSCHEL de planeet Uranus, en er verliepen sedert dien tijd nog 19 jaren, alvorens de eerste der asteroïden, Ceres genoemd, door PIAZZI te Palermo werd gevonden.

Reeds lang had men het vermoeden gekoesterd, dat er zich tusschen Mars en Jupiter nog een planeet moest bevinden. Hoofdzakelijk werd men hiertoe geleid door de opmerking, dat er in de rij der getallen, die eenigermate het verband uitdrukt, dat er tusschen de afstanden van de toenmaals bekende planeten tot de zon bestaat, de zoogenaamde wet van TITIUS of BODE, een getal voorkwam, waarmede geen planeet was overeen te brengen. Telt men namelijk bij de termen der meetkunstige reeks:

0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192.

het getal 4 op, dan verkrijgt men de reeks:

4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196,

welke getallen met de afstanden der bekende planeten de navolgende overeenkomst bezitten, als wij den afstand van de aarde 10 stellen:

	Mercurius	Venus	Aarde	Mars		Jupiter	Saturnus	Uranus
ware afstand:	3,9	7,2	10	15,2		52,0	95,4	191,8.

Blijkens de vergelijking van de bovenstaande getallen, drukt de bedoelde reeks tamelijk nauwkeurig de verhouding uit tusschen de afstanden van de planeten tot de zon, en het is dus geen wonder, dat men op de omstandigheid de aandacht vestigde, dat er voor het getal 28 een gaping in het planetenstelsel bestond. Opmerkelijk is het, dat inderdaad de afstand van de planeet Ceres tot de zon met dit getal vrij wel overeenkomt, bedragende die afstand 27,66, als wij dien van de aarde tot de zon 10 stellen; en ofschoon nu de vroeger genoemde wet niet anders dan als een willekeurige rangschikking van getallen is aan te merken, zoo heeft zij toch tot de ontdekking dier planeet veel toegebracht en is middellijk voor de sterrekunde niet zonder gevolg geweest.

De ontdekking van de planeet Ceres is weldra door die van andere opgevolgd, zoodat het aantal der thans bekende kleine planeten reeds op 1 Januari 1880 192 bedroeg. Al deze planeten bewegen zich op afstanden van de zon, die gemiddeld vrij wel met het getal 28 overeenstemmen. Zij zijn voor het bloote oog niet te onderscheiden, en dus voor den

zeeman niet belangrijk. De opgaaf hunner elementen vindt men in NEWCOMB, Popular Astronomy en andere handboeken.

f. Jupiter.

Deze planeet is de grootste van ons zonnestelsel. Hare massa overtreft verre die van alle andere planeten te zamen. Haar volume is ongeveer 1300 maal grooter dan de aarde, hare massa omstreeks 213 maal. Het soortelijk gewicht is dus veel kleiner dan dat der aarde, zelfs kleiner dan dat van water.

De synodische omloopstijd van Jupiter bedraagt ongeveer 299 dagen, haar siderische omstreeks 12 jaren min 50 dagen.

De gemiddelde afstand der planeet tot de zon is omstreeks 5⅕ maal die van de aarde.

De excentriciteit der loopbaan is gering, zij bedraagt 0,048.

De helling is insgelijks klein, zoodat de loopbaan ongeveer in het vlak der ecliptica ligt. De stilstanden dezer planeet hebben plaats omstreeks twee maanden vóór en twee maanden na de oppositie. Zij gaat een weinig minder dan 10° terug, besteedt daartoe van 117 tot 123 dagen, en wordt daarna weder vooruitgaande. De middellijn der planeet, tijdens de oppositie, wisselt af tusschen 42″ en 48″; in conjunctie is de middellijn gemiddeld 30.″

Zij is gemakkelijk te herkennen aan haar helder wit licht, dat in kracht dat der andere planeten, behalve van Venus, overtreft. In oppositie zijnde is zij het gemakkelijkste te vinden, de datums van dien stand zijn 7 October 1880, half November 1881, einde December 1882, en zoo elk jaar ongeveer een maand en zeven dagen later. Een paar maanden vóór de oppositie kan men haar opkomst laat op den avond waarnemen, terwijl zij de drie maanden na de oppositie zich reeds vroeg in den avond tusschen het zuidoosten en zuidwesten zal vertoonen.

Jupiter wentelt om hare as met zeer groote snelheid. Zij volbrengt die wenteling volgens SCHMIDT in $9^u55^m23^s,7$. De as staat nagenoeg loodrecht op het vlak van de loopbaan, bedragende de helling daarvan 86°54′, en heeft dus op die planeet geen eigenlijke afwisseling van jaargetijden plaats.

De groote snelheid, waarmede Jupiter om hare as wentelt, doet reeds een vrij sterke afplatting vermoeden. De nauwkeurigste onderzoekingen betreffende de afmetingen van Jupiter zijn van KANT, en deze hebben gegeven:

voor de equatoriale	middellijn	37″,67
„ „ polaire	„	35″,49,

en dus voor de afplatting omstreeks $\frac{1}{17}$.

De planeet is vergezeld van vier wachters of manen, die wij in de volgende afdeeling zullen leeren kennen.

g. Saturnus.

Saturnus is de zesde der groote planeten, naar haar afstand tot de zon gerekend, haar synodische omloopstijd bedraagt 878 dagen, haar siderische ongeveer 29½ jaar. Den afstand van de aarde tot de zon = 1 stellende, is de afstand der planeet tot de zon gemiddeld 9,54 of omstreeks 220 millioen mijlen.

De excentriciteit van hare loopbaan is 0,056, de helling van deze op het vlak der ecliptica 2°29′28″.

Saturnus is stationair ongeveer 65 dagen vóór en 65 dagen na de oppositie. Bij haren teruggang, doorloopt zij een boog van 6°41′ tot 6°45′.

In massa en grootte volgt zij op de planeet Jupiter, en hoewel hare massa minder dan ⅓ van die van Jupiter is, bedraagt die toch ongeveer drie maal meer dan de som der massa's van Mercurius, Venus, de Aarde, Mars, Uranus en Neptunus te zamen.

De planeet heeft een sterke afplatting. Volgens KAISER bedraagt, tijdens den gemiddelden afstand der planeet:

de equatoriale	middellijn	17″,274
„ polaire	„	15″,392

waaruit: afplatting = $\frac{1}{9,178}$.

Terwijl geen der andere planeten meer dan 4 satellieten heeft, wordt deze zeer heldere planeet door acht wachters vergezeld, waarover in een volgende afdeeling gehandeld zal worden. Tevens is zij omringd door een stelsel van concentrische ringen, wier vorm zich zeer verschillend aan ons voordoet. De groote afstand, waarop de planeet zich van ons bevindt, maakt dat hare verschijnselen alleen door kijkers van zeer groot vermogen kunnen worden onderzocht. Hare helderheid is die van een ster der eerste grootte, zij heeft een roodachtig licht, alsof zij door een min heldere atmosfeer gezien wordt. Hare helderheid is aan verandering onderhevig, afhankelijk van den stand der ring. Van 1878—1885 neemt zij in helderheid toe, daar ze haar perihelium nadert, en de ring de opene zijde naar ons toekeert. De tijden van oppositie zijn 5 October 1879, 18 October 1880 en verder elk jaar ongeveer 13 dagen later. Hoewel van de planeet, door haren grooten afstand tot de aarde, minder gemakkelijk de aswenteling en de omwentelingstijd met zekerheid te bepalen was, hebben W. HERSCHEL en in 1877 HALL die bepaling, door de verplaatsing van kenbare vlekken op de planeet, volbracht. De laatste vond voor dien tijd $10^u 14^m 24^s$.

De equator van Saturnus helt onder een hoek van 26°48′40″ op het vlak van de baan der planeet. De afwisseling der jaargetijden moet dus bij Saturnus veel overeenkomst hebben met die op de aarde.

De ring, of liever het stelsel van concentrische ringen, ligt in het vlak van den equator der planeet. Dewijl de as der planeet bij de omwenteling van deze om de zon, evenwijdig aan zich zelve verplaatst wordt, zoo zal ook de ring zich in dier voege verplaatsen, en wij zullen hem dus, nu eens min of meer op zijn kant, als een dunne streep, dan weder als een ellips ontwaren. Gaat het vlak van den ring door de aarde, dan zien wij den ring juist op zijn kant; in dat geval is de ring echter onzichtbaar, dewijl zijn dikte uiterst gering is. Het zal duidelijk zijn, dat de ring, naar gelang hij, door de zon verlicht, andere standen ten opzichte van deze inneemt, zich ook anders zal vertoonen. Is b. v. het vlak van den ring op de zon gericht, en heeft mitsdien Saturnus equinox, dan wordt alleen de dunne, opstaande rand verlicht, zoodat wij in dat geval den ring als een verlichte streep zien. Deze streep is echter, alvorens zij onzichtbaar wordt, niet doorloopend, maar hier en daar afgebroken, en het onder- en bovenvlak van den ring schijnt dus niet volkomen plat, maar oneffen te zijn.

Gaat daarentegen het verlengde vlak van den ring tusschen de zon en de aarde door, dan is het verlichte gedeelte van den ring van ons afgekeerd, en de ring mitsdien voor ons onzichtbaar. Deze onzichtbaarheid duurt echter niet lang. Volgens KAISER bedraagt de middellijn van de grens van den buitensten ring 39″,47.

Van 1881—1889 zal men op Noorder-breedte de schoonste waarnemingen door kijkers van Saturnus en haar ring kunnen verkrijgen, daar in dat tijdsverloop de planeet door haar perihelium gaat, hare grootste noorder-declinatie bereikt, en de ring op haar grootste opening schijnt. Vooral van 1881—1885 vallen deze drie voordeelige omstandigheden nagenoeg samen. Onder die grootste opening verstaan wij het volgende: de ring helt op de loopbaan der planeet onder een hoek van 27°, die dus overeenkomt met den hoek van 23½° tusschen den aardschen equator en de ecliptica.

h. Uranus.

Deze planeet, den 13den Maart 1781 ontdekt door W. HERSCHEL, vertoont zich als een ster van de zesde grootte, en is dus met het bloote oog waarneembaar, mits men nauwkeurig wete waar men haar moet zoeken. Den 11den Februari 1877 was zij in oppositie, en men kan de latere tijden van oppositie in deze eeuw ongeveer vinden, door voor ieder jaar na 1877, 4¼ dag bij dien datum te voegen. Om dadelijk de plaats der planeet aan den hemel te vinden, 't zij met ongewapend oog of met den kijker, neme men zijn toevlucht tot den Nautical Almanac, waar men dagelijks de positie, d. i. de rechte-opklimming en de declinatie, vindt opgegeven. In een grooten kijker gezien, heeft de planeet een zeegroene kleur.

De synodische omloopstijd van Uranus bedraagt 369,4 dagen; haar siderische omstreeks 30688,5 dagen of 84 jaren.

Haar gemiddelde afstand tot de zon is 19,183, als men dien van de aarde tot de zon = 1 stelt.

De middellijn van Uranus, tijdens de oppositie, bedraagt omtrent 4″, KAISER vond 3″,62.

Daar men nooit kenbare punten op de schijf heeft waargenomen, heeft men nimmer verplaatsing van vlekken gezien, waaruit een aswenteling kon worden afgeleid, maar men kan als zeker aannemen, dat zij zich om een as beweegt en die beweging in hetzelfde vlak volbrengt, als waarin de satellieten hun baan rondom de planeet beschrijven.

Omtrent de wachters van Uranus wordt in de volgende afdeeling een en ander medegedeeld.

i. Neptunus.

Deze planeet, wier bestaan zich openbaarde door de storingen, die zij op de loopbaan van Uranus uitoefent, is den 23sten September 1846, door GALLE te Berlijn het eerst waargenomen, en de verste thans bekende buiten-planeet. Op verzoek van ARAGO, begon LEVERRIER te Parijs in 1845 een streng theoretisch onderzoek naar de oorzaak der genoemde storingen in de baan van Uranus, die aan het bestaan van een nog onbekende planeet, buiten Uranus zich bewegende, werden toegeschreven, waarbij de invloed van Jupiter en Saturnus op die baan in rekening gebracht werden. Evenzoo was in 1843 JOHN C. ADAMS, student aan de universiteit te Cambridge (in Engeland), door een rapport van Professor AIRY over die storingen, opgewekt, om hetzelfde vraagstuk aan een nauwgezet onderzoek te onderwerpen. Reeds in October 1845 gaf hij AIRY van zijne uitkomsten verslag, en de elementen der baan van de onbekende planeet waren zoo nabij de waarheid, dat zij, bij strenge waarneming, reeds toen zeer waarschijnlijk gevonden zoude zijn. De uitkomsten van ADAMS' berekeningen werden echter niet bekend gemaakt, en de planeet, die in het midden van Augustus in oppositie geweest was, verdween in de zonnestralen, en kon eerst den volgenden zomer weder waargenomen worden.

In den zomer van 1846 verschenen de elementen door LEVERRIER berekend, en nu begon ook CHALLIS, aan het observatorium te Cambridge de planeet te zoeken. Hij volgde een anderen weg als GALLE, maar ook door hem is de planeet op de door LEVERRIER en ADAMS aangegeven plaats aan den hemel gevonden.

De siderische omloopstijd van Neptunus bedraagt 60179,53 dagen. Haar afstand van de zon is, als wij dien van de aarde tot de zon = 1 stellen, 30,05437.

Tijdens de oppositie, bij een heldere atmosfeer, vertoont de planeet zich in sterk vergrootende kijkers als een volkomen ronde schijf van 3″ middellijn.

Hetgeen bij **Uranus** omtrent de aswenteling is opgemerkt, is ook op **Neptunus** van toepassing.

ELEMENTEN VAN DE LOOPBANEN DER ACHT GROOTE PLANETEN VOOR 1850.

Naam der planeet.	Siderische omloops-tijd.	Halve groote as.	Excentriciteit.	Lengte van het perihelium.	Middelbare Lengte planeet 31 Dec. 1849.	Lengte van den klimm. knoop.	Helling op de ecliptica.	Middelbare middellijn in mijlen.	Dichtheid Water = 1	Dichtheid Aarde = 1	Volgens
	dagen										
Mercurius	87,97	0,387090	0,2056048	75° 7′13,″8	323°11′23,″53	46°33′ 8,″6	7° 0′ 7,″71	650,4	6,85	1,21	Leverrier
Venus	224,70	0,723332	0,0068443	129 27 14, 4	243 57 44, 34	75 19 52, 2	3 23 34, 83	1665,2	4,81	0,85	″
de Aarde	365,26	1,0	0,0167711	100 21 21, 4	99 48 18, 66	0 0 0,	0 0 0,	1721,3	5,66	1,00	″
Mars	686,98	1,523691	0,0932611	333 17 53, 5	83 9 16, 92	48 23 53, 0	1 51 2, 28	915,4	4,17	0,737	″
	jaren										
Jupiter	11,86	5,202800	0,0482519	11 54 58, 2	159 56 12, 94	98 56 16, 0	1 18 41, 37	18696,5	1,378	0,2435	″
Saturnus	29,46	9,538852	0,0559428	90 6 56, 5	14 50 28, 49	112 20 52, 0	2 29 39, 8	15326	0,750	0,1325	″
Uranus	84,02	19,18338	0,0463592	170 38 48, 7	29 12 43, 73	73 14 37, 6	0 46 20, 92	6891,3	1,28	0,226	Newcomb
Neptunus	164,78	30,05437	0,0089903	46 9 13, 1	334 30 5, 75	130 7 18, 3	1 46 58, 75	7500,0	1,15	0,204	″
de Zon								186965	1,444	0,2552	

e. DE WACHTERS DER PLANETEN.

Door wachters of satellieten verstaat men de kleinere hemellichten, die zich om sommige planeten bewegen, op dezelfde wijze, als deze om de zon.

De maan is een wachter van de aarde.

Van de planeten hebben, zoover wij weten, alleen Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus wachters.

1°. De wachters van Jupiter.

Zij zijn vier in getal, bewegen zich bijna in het vlak der ecliptica en dus ook nagenoeg in het vlak van den equator der planeet, waarvan de helling, zooals wij weten, 3°5'30" bedraagt. Bij hunne beweging volgen zij de wetten van KEPPLER, doch vertoonen daarbij het verschijnsel niet, dat zij, even als de maan, om hunne assen wentelen, in denzelfden tijd, waarin zij hunne omloopen om de planeet volbrengen. Bij den grootsten wachter althans vond SECCHI, dat de tijd, waarin hij om zijne as wentelt, veel korter is dan die, welken hij besteedt om zijnen omloop rond Jupiter te maken.

Er bestaat een zeer opmerkelijk verband tusschen de bewegingen der drie binnenste satellieten, dat een gevolg moet zijn van hare onderlinge aantrekking, namelijk:

1°. De middelbare beweging van de eerste satelliet, gevoegd bij tweemaal de gemiddelde beweging der derde, is juist gelijk aan driemaal de gemiddelde beweging van de tweede.

2°. Wanneer men bij de middelbare lengte van de eerste satelliet, tweemaal de middelbare lengte der derde optelt, en van deze som driemaal de middelbare lengte der tweede aftrekt, is het verschil altijd = 180°.

De eerste der hier genoemde betrekkingen blijkt uit het volgende tafeltje van de gemiddelde dagelijksche bewegingen der satellieten:

Satelliet	I	beweging of verplaatsing per dag	203°,4890
„	II	„ „ „ „ „	101°,3748
„	III	„ „ „ „ „	50°,3177
„	IV	„ „ „ „ „	21°,5711
		beweging van Satelliet I	203°,4890
	tweemaal de	„ „ „ III	100°,6354
		Som =	304°,1244
		driemaal de beweging van Satelliet II	304°,1244

Door LAPLACE is aangetoond, dat dit verband, dat uit de waarnemingen gebleken was, door een kleine kracht, voortkomende uit hare onderlinge aantrekking, wordt onderhouden. Het verschijnsel komt overeen met de beweging der maan om de aarde, waarbij zij tengevolge van de

aantrekkingskracht onzer aarde, steeds dezelfde zijde naar ons toegekeerd houdt.

De tijden, waarin de wachters om de planeet loopen, zijn zeer verschillend. Duiden wij de wachters, in volgorde van hunne afstanden tot de planeet, door de cijfers I, II, III en IV aan, dan is

de omloopstijd	van	I	42ᵘ28ᵐ,6
„	„	„ II	85ᵘ17, 9
„	„	„ III	171ᵘ59, 6
„	„	„ IV	402ᵘ 5, 1

en de onderlinge standen moeten dus van den eenen dag tot den anderen aanzienlijk veranderen.

Omtrent de elongatie der wachters is waargenomen, dat zij het navolgende bedrag had, toen Jupiter, tijdens de oppositie, zich onder een middellijn van 45″ vertoonde:

die van	I	135″
„ „	II	215
„ „	III	346
„ „	IV	585.

De afwisseling van licht, die de beide eerste wachters ondergaan, geschiedt zeer snel, dewijl zij alle phases in 42 en 85 uren doorloopen. Van de beide andere is de genoemde afwisseling minder snel.

De verduisteringen der satellieten van Jupiter zijn door ons goed waar te nemen, en dewijl wij ons nabij het vlak hunner loopbanen bevinden, kunnen wij ook somtijds de wachters als zwarte vlekjes voorbij de schijf der planeet zien gaan.

Door de waarneming der verduisteringen van den binnensten wachter (I), gedurende tien achtereenvolgende jaren, is ROEMER, omstreeks het einde der 17_{de} eeuw, tot de gewichtige ontdekking gekomen, dat het licht tijd behoeft om zekeren afstand te doorloopen. Hij bepaalde namelijk, door een groot aantal verduisteringen, den gemiddelden tijd van opvolging dier verschijnselen, en vond daarna, dat zij regelmatig vertraagden, als de aarde zich van de planeet verwijderde; doch dat zij integendeel vervroegden, als de aarde tot Jupiter naderde. Hij besloot daaruit te recht, dat deze afwijkingen alleen konden veroorzaakt worden door den veranderlijken afstand van de aarde tot de planeet, waardoor het licht nu eens een grooteren, dan weder een kleineren afstand had te doorloopen en daartoe meer of minder tijd moest besteden.

De latere ontdekking van de aberratie van het licht door BRADLEY heeft de verklaring van ROEMER op het schoonst bevestigd en volkomen gemaakt.

De verduisteringen van de satellieten van Jupiter kunnen, even als de bedekkingen van sterren door de maan, tot de Lengtebepaling van

punten aan den wal worden aangewend. Hiertoe zijn de tijden waarop de eclipsen der satellieten en hunne overgangen voorbij de planeet plaats zullen hebben, in den Nautical Almanac opgegeven voor den meridiaan van Greenwich. De sters-bedekkingen verdienen echter daartoe de voorkeur.

2°. De wachters van Saturnus.

Saturnus is vergezeld van acht wachters. Zeven van hen bewegen zich in loopbanen om de planeet, die nagenoeg met het vlak van haren equator overeenkomen. Zij liggen ongeveer in het vlak van den ring en hebben dus een helling van omstreeks 28° op het vlak van de ecliptica.

De loopbaan van den achtsten wachter, die tevens het verst van Saturnus verwijderd is, maakt een hoek met haren equator van ongeveer 12°14′.

In de onderstaande tabel zijn de namen der wachters vermeld, benevens hunne siderische omloopstijden en de afstanden, waarop zij zich van de planeet bevinden.

Wachter.		Ontdekt door	Tijdstip van ontdekking.	Siderische omloopstijd.	Afstand in stralen der planeet.
N°.	Naam.				
I	Mimas	W. Herschel	17 September 1789	$0^d 22^u 37^m 22^s,9$	3,3607
II	Enceladus	id.	28 Augustus 1789	1 8 53 6 ,7	4,3125
III	Tethys	Cassini	Maart 1684	1 21 18 25 ,7	5,3396
IV	Dione	id.	Maart 1684	2 17 41 8 ,9	6,8398
V	Rhea	id.	23 December 1672	4 12 25 10 ,8	9,5528
VI	Titan	Huygens	25 Maart 1655	15 22 41 25 ,2	22,1450
VII	Hyperion	Lassell en Bond	16 September 1848	21 7 7 40 ,8	26,8
VIII	Japetus	Cassini	October 1671	79 7 53 40 ,4	64,4

De vijf eerste wachters doorloopen hunne phases in korten tijd. Zooals men uit de tabel ontwaart, geschiedt dit bij I in $22\frac{1}{2}^u$, en bij IV in minder dan 66^u. De snelheid, waarmede I zich om de planeet beweegt is zeer groot. Hij doorloopt ongeveer 16° per uur, of 16′ per minuut.

De zesde wachter, door HUYGENS ontdekt, is de grootste van allen. Zijn volume schijnt weinig van dat van Mars te verschillen. De overige wachters vereischen kijkers van een groot vermogen om te kunnen worden waargenomen. Japetus, de buitenste van alle satellieten, is in het eene deel zijner baan, na Titan, de helderste van alle, in het tegenovergestelde deel der baan is hij even zwak als Hyperion, en alleen door zeer vermogende kijkers waarneembaar.

3°. De wachters van Uranus.

Nadat de planeet Uranus door W. HERSCHEL in Maart 1781 was

ontdekt, bevond hij in Januari en Februari 1787, dat Uranus door twee satellieten vergezeld werd, waarvan de binnenste in iets minder dan negen dagen een omwenteling volbracht, terwijl de buitenste daartoe dertien en een halven dag besteedde. Het bestaan dezer beide satellieten is door latere waarnemingen volkomen bevestigd. Later bleef HERSCHEL Uranus en zijne wachters tot doel voor zijne ijverige onderzoekingen nemen en kondigde de ontdekking van nog vier satellieten aan, waarvan één binnen den binnensten der bekende wachters, een tusschen de beide bekende wachters en twee daarbuiten hun omloop zouden volbrengen. In 1846 kwam eindelijk W. LASSELL, in Engeland, in het bezit van een kijker van veel grooter vermogen dan die, welke door HERSCHEL gebruikt was, en hij ontdekte twee nieuwe satellieten, beide binnen de bekende wachters zich bewegende, maar hij vond de andere door HERSCHEL opgegeven satellieten niet. Om zekerder van zijne waarnemingen te zijn, bracht hij zijn telescoop naar Malta over en bepaalde in de zooveel helderder lucht van dit eiland de loopbanen der door hem ontdekte satellieten met groote nauwkeurigheid. Latere onderzoekingen hebben het bestaan dier vier wachters volkomen bewezen, maar ze leidden niet tot de ontdekking der andere satellieten van HERSCHEL.

De bepalingen van LASSELL leidden tot de volgende uitkomsten:

Naam.	Siderische omloopstijd.	Afstand in stralen der planeet.
Ariël	2d 12u 29m 20s,7	7,44
Umbriël	4 3 28 8,0	10,37
Titania	8 16 56 24,9	17,01
Oberon	13 11 6 55,2	22,75

De satellieten van Uranus bewegen zich in loopbanen, die een hoek met de loopbaan der planeet maken van ongeveer 78°58; zij wijken dus in dat opzicht van de satellieten der andere planeten aanmerkelijk af.

Alleen met behulp van zeer vermogende kijkers, kunnen de bedoelde wachters worden waargenomen.

4°. De wachter van Neptunus.

Deze wachter werd ontdekt door LASSELL, in October 1846, en is later ook door anderen waargenomen. Volgens STRUVE, die alles, wat daarop betrekking heeft, inzonderheid heeft nagegaan, bedraagt de grootste elongatie van dien satelliet 18″; de afstand, in stralen der planeet uitgedrukt, 14; en de siderische omloopstijd 5d21u2s,7.

Volgens sommigen, heeft Neptunus twee wachters.

5°. De wachters van Mars.

Toen Mars in 1877 in oppositie was, werd door professor ASAPH HALL te Washington, die planeet ijverig waargenomen, ten einde, onder die gunstige omstandigheden, te onderzoeken of zij door satellieten wordt vergezeld. In den nacht van 11 Augustus 1877 ontdekte hij een klein lichaam ongeveer 80 secunden beoosten de planeet, terwijl hij het den 16^den^ weder opmerkte en toen tevens ontdekte, dat het de planeet in hare loopbaan volgde. Het kon dus geen vaste ster zijn, maar er was nog mogelijkheid, dat het waargenomen hemellichaam geen satelliet van Mars, maar een der asteroïden was, welke juist dezen stand innam. Werkelijk bleek uit de ephemeriden dat de kleine planeet Europa op dezen tijd slechts op ongeveer 2 à 3° afstand van Mars zich moest vertoonen, en hoewel nu zulk een groote fout in de opgaven zeer onwaarschijnlijk was, besloot HALL zijne ontdekking nog niet bekend te maken, voordat hij nog grootere zekerheid had verkregen. Den volgenden nacht werd dit doel werkelijk bereikt en niet alleen de satelliet, wier omloopstijd hij reeds op ongeveer 29 uren had geschat, waargenomen, maar tevens een tweede wachter, binnen de eerste en veel dichter bij de planeet, ontdekt. Beide wachters werden in de volgende nachten zoowel te Washington als te Cambridge en Cambridgeport duidelijk waargenomen, zoodat hun bestaan boven allen twijfel verheven is.

De binnenste satelliet is zeer nabij de hoofdplaneet en heeft een zeer korten omloopstijd. Terwijl toch de kortst bekende omloopstijd die was van de binnenste satelliet van Saturnus, namelijk 22^u37^m, volbrengt de binnenste wachter van Mars een omloop in 7^u38^m. De afstand van de oppervlakte van Mars tot die satelliet is ongeveer 1000 mijlen, dus ongeveer $\frac{1}{60}$ van den afstand der maan tot ons.

De omloopstijd van de buitenste satelliet is 30^u14^m.

Deze satellieten zijn verreweg de kleinste hemellichamen, welke tot nu toe bekend zijn.

f. DE KOMETEN.

De kometen of staartsterren zijn hemellichten, die zich, even als de planeten, om de zon bewegen. Zij onderscheiden zich echter van deze door zeer uitmiddelpuntige loopbanen, waardoor zij alleen zichtbaar zijn, als zij in de nabijheid der zon komen, die een van de brandpunten der loopbaan inneemt.

Deze loopbanen hebben voorts zeer uiteenloopende standen, ten opzichte van de ecliptica, terwijl de richting, waarin sommige kometen zich verplaatsen, tegenovergesteld is aan die van de planeten, welke allen, uit de zon gezien, van het Westen naar het Oosten voortgaan.

Ook het uiterlijk voorkomen van een komeet verschilt in het algemeen

zeer van dat der planeten. Gewoonlijk vertoonen zij zich als een nevelachtige vlek, het **hoofd** genoemd, waarin de **kern** als een helder punt, of soms als een schijfje, bijzonder lichtgevend is. Soms ook is er in het geheel geen kern te ontdekken, en is de nevelachtige vlek in het midden meer samengepakt. Meestal hebben de kometen staarten, die van de zon zijn afgekeerd; doch sommige kometen vertoonen geen staart, of bezitten er twee en meer, die somwijlen naar de zon zijn gericht, terwijl het voorkomen van dezelfde komeet van den eenen tot den anderen dag dikwijls aanmerkelijk verandert.

Uit een en ander zal men mogen besluiten, dat de kometen van een andere natuur zijn dan de planeten, en als lichamen moeten worden beschouwd, die daarmede in het geheel niet overeenkomen. De kometen zijn voor de zeevaart, ter plaatsbepaling van het schip, van geen belang.

Wij laten hieronder volgen een opgave van de elementen der voornaamste kometen met korte omloopstijden.

Komeet van	Laatst waargenomen doorgang door het perihelium.	Afstanden tot de Zon.		Helling.	Lengte van den klimmenden knoop.	Afstand van knoop tot perihelium.	Omloopstijden in jaren.
		kleinste	grootste				
Encke	13 April 1875	0,342	4,10	13° 5'	334°30'	183°30'	3,3035
Biela	23 September 1852	0,860	6,19	12 33	245 52	223 13	6,620
Faije	18 Juli 1873	1,686	5,98	11 22	209 42	200 15	7,413
Brorsen	10 October 1873	0,621	5,66	29 49	101 41	13 57	5,561
d'Arrest	28 November 1857	1,17	5,72	13 56	148 28	174 32	6,39
Winnecke	12 Maart 1875	0,78	5,50	11 17	111 33	165 10	5,56
Tuttle	2 December 1871	1,03	10,51	54 17	260 17	206 47	13,78
Tempel	9 Mei 1873	1,771	4,81	9 46	78 43	159 18	5,98
Halley	15 November 1835	0,586	35,3	162 15	57 15	112 43	76,00

III. DE KRACHTEN, DIE DE LICHAMEN VAN HET ZONNESTELSEL BEHEERSCHEN.

Van de hemellichten, die wij beschouwd hebben, vormen de zon, de planeten met hare wachters en de kometen het zonnestelsel, terwijl men den naam van planetenstelsel meer in het bijzonder aan het stelsel geeft, dat door de drie eerstgenoemde hemellichten wordt uitgemaakt.

De beweging van de lichamen, die het zonnestelsel uitmaken, wordt beheerscht:

1°. door de algemeene aantrekkingskracht;

2°. door de snelheid en de richting der beweging van het hemellicht op een bepaald oogenblik.

De algemeene aantrekkingskracht heeft de navolgende eigenschappen:

1°. zij werkt in de omgekeerde reden van de vierkanten der afstanden;

2°. zij werkt in de rechte reden der massa's;

3°. zij is onafhankelijk van den aard der stof, waaruit de lichamen bestaan.

De aantrekkingskracht zetelt zoowel in de zon, als in de planeten. Hare werking is wederkeerig, doch is in de zon, waarvan de massa die van al de lichamen van het zonnestelsel in grootte overtreft, het krachtigst, en zij bestuurt alzoo den geheelen loop dier lichamen, alhoewel de planeten onderling elkanders baan in ligging en in grootte wijzigen.

De wetten van KEPPLER zijn niet anders dan als uitvloeisels van de bovengenoemde eigenschappen te beschouwen. Op de waarneming der planeten gegrond, en als de vrucht van onderzoekingen aangaande die waarnemingen, werden zij later door NEWTON uit de ondersteldе wetten der aantrekkingskracht, die wij hierboven opnoemden, volkomen wiskunstig verklaard en bewezen. De juistheid van de onderstelling is door de overeenstemming, die er tusschen de beschouwingen van NEWTON en KEPPLER bestaat, volkomen aangetoond, en de waarheid daarvan is thans nog volkomen bevestigd.

Volgens de hoogere wiskunde toont men aan, dat de lichamen van ons zonnestelsel zich moeten bewegen, volgens kegelsneden, waarvan de soort afhangt van de oorspronkelijke snelheid van het hemellicht, verbonden met den afstand, waarop het zich op dat oogenblik van de zon bevond.

De groote excentriciteit van de banen der kometen, vergeleken bij de geringe excentriciteit van die der planeten, wijst ons dus reeds dadelijk op het verschil in de oorspronkelijke snelheden van die hemellichten. Heeft een komeet een kleine, zeer excentrische loopbaan, dan moet de bedoelde snelheid zeer gering zijn geweest. Is de loopbaan daarentegen, bij een groote excentriciteit, zeer groot, dan moet ook

de oorspronkelijke snelheid zeer groot zijn geweest, zooals door het onderstaande nader wordt toegelicht.

Nemen wij als lengte-eenheid aan den gemiddelden afstand van de aarde tot de zon; als tijdseenheid den middelbaren dag; zij B de snelheid per dag, die wij ter onderscheiding de oorspronkelijke genoemd hebben, en denken wij ons deze rechthoekig, op den afstand A van het lichaam tot de zon. Zij voorts $k = 0{,}0172021$ een, voor ons zonnestelsel standvastig, door GAUSS bepaald getal, dan kan bewezen worden dat B altijd gelijk is aan $k\sqrt{\frac{2}{A} - \frac{1}{\text{groote as}}}$; dus groote as $= \frac{1}{\frac{2}{A} - \frac{B^2}{k^2}}$. Uit deze formule kan men veel merkwaardigs afleiden, terwijl elk ander hemellicht een cirkel zal beschrijven, met den straal A, als $B = \frac{k}{\sqrt{A}}$ is, bijv.

Is $B > \frac{k}{\sqrt{A}}$ doch $< k\sqrt{\frac{2}{A}}$ dan beschrijft het een ellips, waarvan het uiteinde van A het perihelium is. Naar mate B toeneemt, wordt ook de excentriciteit dier ellips grooter.

Wordt $B = k\sqrt{\frac{2}{A}}$, dan beschrijft het lichaam een parabool; en is $B > k\sqrt{\frac{2}{A}}$ dan wordt de kromme lijn, die het doorloopt, een hyperbool.

Was eindelijk $B < k\sqrt{\frac{1}{A}}$, dan zou de beweging ook in een ellips plaats hebben.

Voor $B < \frac{k}{\sqrt{A}}$, zoowel als voor $B > \frac{k}{\sqrt{A}}$ beschrijft het lichaam dus een ellips; doch in het eerste geval is het punt van uitgang het a p h e l i u m, in het laatste het p e r i h e l i u m.

Is $B = 0$, dan valt het hemellicht rechtlijning naar het middelpunt der zon. Men ziet hieruit, dat onder de onbepaald vele gevallen, die er kunnen plaats hebben, slechts één geval mogelijk is voor een cirkel, namelijk als B juist gelijk is aan $\frac{k}{\sqrt{A}}$; slechts één voor een parabool, als $B = k\sqrt{\frac{2}{A}}$ en één voor een rechte lijn als $B = 0$ is.

De geringste afwijking hiervan doet de baan in een ellips of een hyperbool overgaan.

Voor de planeten is B ongeveer $\frac{k}{\sqrt{A}}$, maar in bijna onbepaald vele gevallen is B nabij $k\sqrt{\frac{2}{A}}$, en dit geldt de kometen.

Wij hebben ondersteld, dat de richting der beweging, op den afstand A, rechthoekig was op de richting van A. Dit was echter niet noodzakelijk,

dan alleen voor het geval der cirkelvormige beweging; want deze eischt, behalve een snelheid $k\sqrt{\frac{1}{A}}$, ook nog de vervulling der voorwaarde, dat de beweging rechthoekig zij op den straal. De minste afwijking hiervan, ook al is $B = k\sqrt{\frac{1}{A}}$, doet de baan in een ellips overgaan.

Het punt waar de beweging begint, ligt dan in een der toppen van de kleine as.

IV. DE BEPALING VAN DE RECHTE-OPKLIMMING EN DE DECLINATIE DER HEMELLICHTEN.

Was het punt ♈ een zichtbaar voorwerp aan den hemel, dan zou de bepaling van de rechte-opklimming der hemellichten met betrekkelijk weinig moeite kunnen geschieden, dewijl men dan slechts had op te merken hoeveel tijds een hemellicht na het punt ♈ door den meridiaan ging, om de bedoelde coördinaat van dat hemellicht te verkrijgen. Zooals wij echter weten, is het punt ♈ een denkbeeldig punt en alleen door de verbinding van de waarneming van het hemellicht met die van de zon, terwijl deze laatste zich omstreeks 21 Maart en 21 September nabij de equinoxen bevindt, zal men in staat zijn de rechte-opklimming van het hemellicht op een volstrekte wijze te bepalen. Deze methode wordt slechts op eenige weinige sterren, fundamentaal sterren genoemd, toegepast, wegens de eigenaardige bezwaren, die daaraan verbonden zijn.
Is de rechte-opklimming van eenige sterren aldus bepaald, dan kan deze op hare beurt strekken, om de rechte-opklimming van andere hemellichten te doen vinden, waartoe men het verschil van hunne doorgangstijden slechts bij de gegeven rechte-opklimming heeft in rekening te brengen, waardoor de plaats dier hemellichten op een betrekkelijke wijze zal gevonden zijn.

Ook bij de bepaling der declinatie, kunnen twee gevallen worden onderscheiden. Men kan namelijk met behulp van de bekende Breedte der waarnemingsplaats en de hoogte, die het hemellicht in den meridiaan bereikt, de declinatie rechtstreeks vinden; of wel, men kan, door de hoogten van twee verschillende hemellichten bij den doorgang waar te nemen, mits men de declinatie van een hunner kent, ook die van het andere vinden, dewijl het verschil dier hoogten, behoudens de noodige verbeteringen, tevens dat van de declinatiën dier hemellichten is.

a. DE ABSOLUTE PLAATSBEPALING DER HEMELLICHTEN.

Alvorens de methode te beschouwen, die men daarbij in het algemeen

volgt, willen wij een korte beschrijving geven van de hoofdinrichting en het gebruik van twee voorname sterrekundige werktuigen, den meridiaan-cirkel en de astronomische klok of pendule, waarvan men zich bij de absolute-plaatsbepaling der hemellichten meestal bedient, opdat men ten minste in staat zij zich eenig denkbeeld te vormen, ofschoon altijd nog oppervlakkig, van de wijze, waarop de benoodigde grootheden gevonden worden.

1°. De meridiaan-cirkel.

bestaat hoofdzakelijk uit een kijker, loodrecht bevestigd op een horizontale as, waarop aan ieder der armen van de laatstgenoemde een verdeelde cirkel insgelijks loodrecht is aangebracht. De as wordt gedragen door twee steenen pilaren, waaraan mikroskopen zijn gehecht, ten einde de verdeeling van de cirkels, waarop zij gericht zijn, met juistheid te kunnen aflezen. Bij de beweging des kijkers om zijne as, beschrijft hij een vertikaal vlak, welke beweging door de cirkels gedeeld wordt. Wegens den vasten stand der mikroskopen, is men in staat de hoeken, door den kijker in het genoemde vlak doorloopen, aan te geven. Zijn bijv. de mikroskopen bij den horizontalen stand des kijkers afgelezen, dan zal het verschil tusschen deze aflezing en die, als de kijker op een hemellicht is gericht, aanwijzen hoeveel de kijker is verplaatst, en in dit geval de hoogte van dat hemellicht doen kennen.

In het gemeenschappelijk brandpunt van het objectief en oculair des kijkers, bevinden zich eenige evenwijdige, vertikale spinragdraden, waarvan de middelste, de middeldraad genoemd, zoo na mogelijk den meridiaan aangeeft. Zij worden door een of twee horizontale dwarsdraden rechthoekig gesneden en zijn bevestigd op een plaatje, dat loodrecht op de optische as van den kijker staat.

a. Hoofdpunten, waarop bij het gebruik van het werktuig moet gelet worden.

Het doel van den meridiaan-cirkel is, om met behulp van den kijker de oogenblikken waar te nemen, waarop de hemellichten door den meridiaan gaan.

Zal de kijker aan dit doel beantwoorden, dan moet in elken stand, de middeldraad met het vlak van den meridiaan zamenvallen, en alzoo, bij de beweging des kijkers om zijn as, den meridiaan beschrijven. Hiertoe moet

1°. de omwentelingsas des kijkers zuiver horizontaal zijn;

2°. de optische as des kijkers, of de lijn, die wij ons door het optische middelpunt van het objectief en den middeldraad kunnen denken, loodrecht staan op de omwentelingsas;

3°. de optische as des kijkers in het vlak van den meridiaan liggen, en dus, bij de beweging des kijkers om zijn as, door de pool gaan.

Alvorens men tot het verrichten van waarnemingen met het werktuig overgaat, behoort eerst onderzocht te worden of aan de voornoemde eischen voldaan is.

Ten einde zich omtrent het eerste punt te vergewissen, plaatst men op de tappen van de omwentelingsas een n i v e a u, zijnde een gedeeltelijk met spiritus gevulde, gesloten glazen buis. Dewijl de bovenkant van de binnenoppervlakte der buis hol is uitgeslepen, zal de lucht, die in de buis is overgebleven, onder den vorm van een bel, steeds het hoogste punt innemen van den boog, dien de genoemde oppervlakte vormt. Ligt de buis zuiver horizontaal, dan komt het midden der luchtbel overeen met het nulpunt van een verdeeling, die van dit punt naar de beide uiteinden rechts en links wordt geteld en in de buis gegraveerd is. Denkt men zich de glazen buis, die door twee koperen voeten gedragen wordt, met die voeten op een horizontaal vlak geplaatst, dan zal de luchtbel daarbij zekeren stand aannemen, welke stand niet verandert, zoolang de voeten op het horizontale vlak rusten, in welke richting het niveau daarop ook moge gesteld zijn. Plaatst men nu het niveau zoodanig op de as van een kijker, dat de bedoelde voeten op de cilindrische tappen rusten, en leest men met behulp van de vroeger genoemde verdeeling den stand af van de uiteinden der luchtbel, dan moet ook, als men het niveau omlegt, d. i. de voet, die bijv. op den rechtertap rustte, op den linker plaatst, de stand der bel geen verandering ondergaan, en dus de aflezing der uiteinden dezelfde zijn als die vóór de omlegging, indien de as horizontaal ligt.

Verplaatst zich echter de bel door de omlegging van het niveau, dan ontwaart men dadelijk welke arm van de as te hoog ligt, dewijl de bel naar die zijde uitwijkt, en men kan, met behulp van de daartoe voorhanden correctieschroeven, het gebrek verhelpen. Hierbij wordt uit den aard der zaak voorondersteld, dat de as van het niveau met de omwentelingsas van den kijker in één vlak ligt. Is dit niet het geval, dan kan dit met behulp van correctieschroeven, die daartoe aan het niveau zijn aangebracht, verholpen worden. Men raadplege voor de rectificatie van niveaus, de werken over de praktische sterrekunde.

Ofschoon de as zuiver horizontaal moge gesteld zijn, zoo behoudt zij dien stand echter niet lang en krijgt spoedig eenige helling. Men is gewoon deze helling door omlegging van het niveau te bepalen, en haar later bij de waarnemingen in rekening te brengen. Ziehier hoe men bij die bepaling te werk gaat. Men plaatst het niveau op de as, leest de uiteinden der bel af, legt het niveau om en herhaalt de aflezing. Neemt men nu het halve verschil van de middentallen der aflezingen op elken asarm, dan zal het product van dit halve verschil met het aantal secun-

den, waarmede één niveaudeel overeenkomt, de gevraagde helling der as in boogsecunden zijn.

Zonder de wijze te doen kennen, waarop men de waarde van een niveaudeel bepaalt, deelen wij alleen mede, dat men hierdoor verstaat het aantal secunden, dat het niveau in helling verandert, als de luchtbel zich één verdeeling verplaatst.

Voorbeeld. Men vraagt de helling van een omwentelingsas te bepalen, indien op een niveau, dat op die as gesteld wordt, de navolgende aflezingen worden verricht:

1°. het Oostelijke punt der bel	20,8	niveaudeelen;
„ Westelijke „ „ „	23,5	„

Na omlegging van het niveau leest men af:

2°. het Oostelijke punt der bel	18,3	niveaudeelen;
„ Westelijke „ „ „	26,0	„

Ieder niveaudeel komt overeen met 1",5 boogs, terwijl men vooronderstelt dat de tappen gelijke dikte hebben. De oplossing is als volgt:

1°. bij de 1ste waarn. zijn de uiteinden der bel	20,8 deelen O	23,5 deelen W
2°. na de omlegging, „ „ „ „ „	18,3 „ O	26,0 „ W
'gemiddeld	19,55 „ O	24,75 „ W

Het halve verschil bedraagt dus 2,60 niveaudeelen W.
Gevraagde helling = 2,60 × 1",5 = 3",9.

Het Westelijke uiteinde der as is dus 3",9 hooger dan het Oostelijke.

Om het tweede punt te onderzoeken, richt men den middeldraad van den kijker op een ver verwijderd voorwerp. Blijft dit voorwerp, terwijl men den kijker om de horizontaal gestelde as een weinig draait, achter den draad, dan staat de draad vertikaal; blijft de overeenstemming echter daarbij niet bestaan, dan moet het dradennet, met daartoe voorhanden correctieschroefjes, zooveel als noodig is verzet worden. Vervolgens merkt men op, welke kennelijke punten van het aardsche voorwerp zich juist ter wederzijde van den draad vertoonen, ligt den kijker met de as zoo voorzichtig mogelijk uit de pannen, waarin hare tappen rusten, draait de as 180° om, zoodat de arm, die vroeger naar het Oosten gericht was, thans naar het Westen wijst, laat de as aldus omgedraaid weder in de tappannen rusten, stelt haar horizontaal en richt den kijker andermaal op het voorwerp.

Komt nu de draad weder juist tusschen de vroeger genoemde kennelijke punten, dan staat de optische as des kijkers loodrecht op de omwentelingsas. Wijkt echter de draad rechts of links af, dan is de helft van die afwijking de collimatiefout, of de maat van hetgeen aan den loodrechten stand der optische as ontbreekt.

Door de draden in een horizontale richting een weinig te verschuiven,

kan de genoemde fout op zeer weinig na vernietigd worden. De overblijvende fout wordt in de praktijk bepaald, en bij de waarnemingen in rekening gebracht. Wij zullen, bij de bepaling van het voetpunt van de cirkels, een der manieren doen kennen, waarop de bedoelde fout gevonden kan worden.

Tot het onderzoek van het derde punt, kunnen verschillende wegen worden ingeslagen. Onder deze is de navolgende de gemakkelijkste. Men neme van een circumpolair-ster eenige bovenste en benedenste doorgangen waar, d. i., men teekene zorgvuldig de aanwijzingen op van een zeer regelmatig loopend uurwerk voor de oogenblikken, waarop de ster zich in den middeldraad des kijkers bevindt. Zijn de tijdsverloopen tusschen den bovensten en den daarop volgenden benedensten doorgang, en tusschen dezen en den daarop volgenden bovensten doorgang aan elkander gelijk, dan deelt de middeldraad den weg, dien de ster ten gevolge van de dagelijksche beweging schijnt te beschrijven, middendoor en bevindt zich dus in den meridiaan. Zijn die tijdsverloopen echter ongelijk, dan ontdekt men lichtelijk aan welke zijde de kijker afwijkt. Ook deze afwijking wordt nimmer als nul aangemerkt, maar door de verbinding van de waarneming van twee of meer paren sterren, welker declinatiën veel van elkander verschillen, zorgvuldig bepaald en daarna in rekening gebracht. Een en ander zullen wij hierna door een voorbeeld toelichten.

b. Bepaling van het poolpunt en het voet- of toppunt der cirkels.

De hoeken, door den kijker doorloopen, als hij om de horizontale as wordt gedraaid, moeten, zooals bereids is opgemerkt, door de cirkels, die op de as bevestigd zijn, worden aangegeven. Men behoort dus op deze cirkels vaste punten aan te nemen, ten opzichte van welke de hoeveelheid van de verplaatsing des kijkers gerekend wordt, en kiest daarvoor die punten der verdeeling, waarop de mikroskopen wijzen, als de kijker op de pool des hemels en op het voet- of toppunt gericht is. Deze punten dragen den naam van het poolpunt en het voet- of toppunt der cirkels en kunnen op de volgende wijze bepaald worden.

Men richt den kijker op een circumpolair-ster, bij haren bovensten en benedensten doorgang door den meridiaan, leest in beide standen de verdeeling der cirkels af, waarop de mikroskopen gericht zijn, brengt aan die aflezingen verbeteringen aan, voor de refractie, en neemt daarna uit die verbeterde aflezingen het gemiddelde. Brengt men de verdeeling, die met dit middental overeenstemt, onder de mikroskopen, dan zal de kijker op de pool gericht zijn.

Het voetpunt van de cirkels wordt het gemakkelijkst bepaald met behulp van een met kwikzilver gevulden bak, die onder het midden van

den kijker geplaatst wordt. Verwisselt men de oogbuis met een andere, waarin een zijdelingsche opening is gemaakt en een plaatje mica, onder een hoek van 45°, tusschen de draden en het oogglas is aangebracht, dan zal het dradennet door deze inrichting eenigszins verlicht worden. Richt men voorts den kijker op den kwikbak, dan zullen de lichtstralen van het dradennet, door het objectief, op de kwikoppervlakte worden teruggekaatst, en na voor de tweede maal door het objectief te zijn gegaan, in het brandpunt een beeld vormen, dat nevens het dradennet zichtbaar zal zijn. Brengt men vervolgens, door een kleine beweging van den kijker om zijne as, de twee dwarsdraden met hun beeld tot bedekking, dan zal de optische as des kijkers juist op het voetpunt gericht zijn, en men zal in dien stand slechts de mikroskopen hebben af te lezen, om het verlangde voetpunt der cirkels te erlangen. Diametraal tegenover dit punt, ligt het toppunt.

Ligt de as, waarom de kijker draait, zuiver horizontaal, doch bestaat er een collimatiefout, dan zal, wanneer de dwarsdraden elkander dekken, de middeldraad met zijn beeld een weinig verschillen en daarvan rechts of links afwijken. Maakt men dan, door aan de as een kleine helling te geven, dat de bedoelde draad met zijn beeld samenvalt, dan zal men slechts, met behulp van het niveau, de helling van de as hebben te bepalen en daarvan de helft moeten nemen, om het bedrag van de collimatiefout te verkrijgen.

Is het voetpunt van de cirkels bepaald, dan zal, als wij ons den kijker op een ster gericht denken en de cirkels daarbij afgelezen, het verschil tusschen deze aflezing en die, toen de kijker op het voetpunt was gericht, met 90° verminderd, de schijnbare hoogte dier ster zijn.

2°. De astronomische klok of pendule.

Dit is een slingeruurwerk, dat uiterst regelmatig behoort te loopen.

Ten einde te onderzoeken, of het uurwerk een geregelden gang heeft, kan men acht geven op het oogenblik, waarop een vaste ster voorbij den middeldraad van den kijker gaat. Herhaalt men die waarneming den volgenden dag, dan moeten er, indien de pendule naar sterretijd geregeld is, tusschen de beide doorgangen, naar aanwijzing van de pendule juist 24^u zijn verloopen. Is echter, zooals meestal gebeurt, het bedoelde tijdsverloop $24^u \pm a$, dan noemt men a den dagelijkschen gang der pendule, waarvan het evenredig gedeelte, bij elk tijdsverloop, dat door die pendule gemeten wordt, in rekening moet gebracht worden.

Zal het uurwerk voor astronomisch gebruik dienstig zijn, dan mag de dagelijksche gang den eenen dag niet merkbaar van dien des anderen verschillen, of, bijaldien zich afwijkingen openbaren, dan moeten deze zich binnen zekere grenzen door een formule laten voorstellen, opdat zij,

door het in acht nemen van bekende storende invloeden, tot een gering bedrag teruggebracht kunnen worden. Over de gangen van uurwerken, en inzonderheid over die van tijdmeters, wordt in het IV^{de} Hoofdstuk van het II^{de} Deel opzettelijk gehandeld. Men raadplege voor slingeruurwerken, de onderzoekingen omtrent het sterrekundig slingeruurwerk der Nederlandsche Marine, HOHWÜ n°. 15, door den Hoogleeraar F. KAISER, opgenomen in de verslagen en mededeelingen der Koninklijke Akademie van wetenschappen, Deel X, bladz. 194.

3°. De bepaling van het oogenblik, waarop een hemellicht door den meridiaan gaat.

Wanneer men de aanwijzing van een astronomisch uurwerk wil kennen, op het oogenblik, waarop een ster door den meridiaan gaat, dan moet het punt van den middeldraad, dat midden tusschen de dwarsdraden ligt, gericht zijn op het punt van den meridiaan, alwaar de ster dezen bij den doorgang snijdt. Hiertoe gaat men na, met behulp van de bekende declinatie der ster en de Breedte der waarnemingsplaats, hoe groot de hoogte moet wezen, die de ster in den meridiaan zal bereiken en draait den kijker zoolang om de horizontale as, tot dat de overeenkomstige verdeeling der cirkels onder de mikroskopen komt. Geeft men voorts acht, als de ster zich aan den rand van het veld des kijkers vertoont, dan kan men, door een kleine verplaatsing des kijkers, de ster midden tusschen de dwarsdraden brengen, indien daaraan iets mocht ontbreken.

Terwijl men let op de tikken der pendule, onthoudt men de plaatsen *a* en *b*, fig. 96, die de ster ter wederzijde van elken vertikalen draad *c* innam, bij twee op elkander volgende tikken, en bepaalt door schatting het oogenblik, waarop de ster den draad is voorbijgegaan in tiende deelen van secunden, naar de verhouding, die er tusschen *ac* en *ab* bestaat. Wees de pendule b. v. 8^u6^m, en gaf zij bij den stand van de ster in *a* den tienden secundetik, terwijl zij, toen de ster in *b* was, den elfden liet hooren, dan is, dewijl op het oog af, *ab* tot *ac* in reden is als 10 tot 4, de aanwijzing der pendule voor het oogenblik, waarop de ster in den draad was, $8^u6_m10^s,4$.

Neemt men vervolgens op deze wijze de doorgangen der ster aan verschillende zijdraden waar, dan kunnen die waarnemingen tot den middeldraad worden herleid, en zal dan het gemiddelde uit die doorgangstijden zeer nabij het juiste oogenblik naar aanwijzing der pendule zijn, waarop de ster door den middeldraad is gegaan.

Ten einde de bedoelde herleiding te kunnen volvoeren, moet men den afstand kennen van elken zijdraad tot den middeldraad. Men verstaat door den genoemden afstand den hoek, dien de richtingen van den middeldraad en den zijdraad in het middelpunt van het objectief te zamen vormen.

Is, fig. 98, *CAPD* de meridiaan, de middeldraad van den kijker juist in dat vlak, *A* het punt, waarin zekere ster den genoemden draad snijdt, *B* dat, waarin die ster door den zijdraad is gegaan, en de boog *AB* een gedeelte van den grooten cirkel, die den meridiaan in *A* rechthoekig snijdt, dan is $AB = f$ de afstand van den zijdraad tot den middeldraad. Is voorts *P* de pool, dan stelt hoek *P*, dien wij *t* noemen, den tijd voor, uitgedrukt in sterretijd, die er tusschen de doorgangen der ster door de beide draden verloopen is, en zij *d* de declinatie dier ster, dan geeft ons de rechthoekige bolvormige driehoek *APB*:

$$\sin AB = \sin P \sin PB$$

of

$$\sin f = \sin t \cos d.$$

Bij sterren, welker declinatiën kleiner zijn dan 80°, mag men schrijven:

$$f = t \cos d$$

waardoor *f* in tijd gevonden wordt, als *t* in tijd is uitgedrukt.

Ofschoon de waarneming van den doorgang van sterren, die in de nabijheid der pool staan, niet zoo nauwkeurig kan plaats hebben, als die van sterren, welker declinatiën klein zijn, zoo moeten wij hierbij de omstandigheid opmerken, dat bij de eerstgenoemde cos *d* een zeer kleine waarde heeft, en mitsdien een fout in *t* weinig invloed op *f* uitoefent. De invloed van een fout van het gezicht op een waargenomen doorgang kan geacht worden evenredig te zijn aan *sec d*. Bestond die dus alleen, dan zou het onverschillig zijn of men sterren van kleine of groote declinatie gebruikte. Maar de fout van het gehoor is onafhankelijk van *d*. De betrekking tusschen die beide fouten is gewoonlijk zoo, dat men bij kleine vergrootingen de afstanden der draden zeer goed door sterren met kleine declinatie kan bepalen, maar bij groote vergrootingen bij voorkeur sterren uitkiest die in de nabijheid der pool staan.

Kent men den dradenafstand *f*, dan kan men omgekeerd *t* berekenen, als men een ster waarneemt, welker declinatie *d'* is, met behulp der formule:

$$t = f \sec d'.$$

Heeft men bij voorbeeld waargenomen den doorgang eener ster, welker declinatie *d* is,

aan	den	Oostelijken	draad	I	te	α^{u}
„	„	„	„	II	„	α'
„	„	middeldraad		III	„	M
„	„	Westelijken	draad	IV	„	α''
„	„	„	„	V	„	α'''

terwijl de dradenafstanden, in tijd uitgedrukt, zijn:

die van I tot III $= f$
„ „ II „ III $= f'$
„ „ IV „ III $= f''$
„ „ V „ III $= f'''$

dan zal men hebben:

reductie der waarn. aan I tot den middeldr. $= f \sec d$
„ „ „ „ II „ „ „ $= f' \sec d$
„ „ „ „ IV „ „ „ $= f'' \sec d$
„ „ „ „ V „ „ „ $= f''' \sec d$

en dus

herleide waarn. aan I tot die aan III $= \alpha + f \sec d$
„ „ „ II „ „ „ III $= \alpha' + f' \sec d$
„ „ „ IV „ „ „ III $= \alpha'' - f'' \sec d$
„ „ „ V „ „ „ III $= \alpha''' - f''' \sec d$
waarneming „ III $= M$

waaruit

gemiddelde doorg. te $\frac{1}{5} \{ M + \alpha + \alpha' + \alpha'' + \alpha''' + (f + f' - f'' - f''') \sec d \}$.

Door de vergelijking van elke herleide waarneming met het gevonden middental, zal men in staat zijn de mindere of meerdere nauwkeurigheid van de waarneming te beoordeelen.

Was de kijker volkomen gerectificeerd, dan zou het waargenomen oogenblik, waarop het hemellicht door den middeldraad is gegaan, tevens dat zijn van den doorgang door den meridiaan, en wij zullen dus hebben te onderzoeken, welken invloed een minder juiste stand van den kijker op de bedoelde waarneming uitoefent.

a. Invloed van de helling der omwentelingsas van den kijker.

Zij $CAPD$, fig. 97, de meridiaan, P de pool, en de Westelijke arm van de omwentelingsas des kijkers hooger dan de Oostelijke, dan zal de middeldraad, bij de beweging des kijkers om die as, den grooten cirkel CBD beschrijven. Wordt nu de doorgang van een ster in het punt B van den draad waargenomen, dan is op dat oogenblik hoek APB de Oostelijke uurhoek van die ster, die blijkbaar bij den waargenomen tijd moet geteld worden, als men den doorgang door den meridiaan verlangt te weten.

Noemen wij hoek APB ter bekorting P, de helling der as h, en zij A het punt, waarin de ster den meridiaan snijdt, en alzoo de boog BA loodrecht op CAD, dan is, in de driehoeken ABP en CBA,

$$\text{tang}\, P = \frac{\text{tang}\, AB}{\sin AP} \quad \text{en} \quad \text{tang}\, AB = \sin AC \,\text{tang}\, ACB$$

en dus

$$\text{tang } P = \text{tang } ACB \frac{\sin AC}{\sin AP}.$$

Nu is blijkbaar

hoek $ACB = h$ de helling der as,
$AC = 90^\circ - (b - d)$ de meridiaanshoogte der ster,
$AP = 90^\circ - d$ de poolsafstand der ster,
$TP = 90^\circ - b$ het complement der Breedte,

en dus

$$\text{tang } P = \text{tang } h \frac{\cos (b - d)}{\cos d}$$

of, dewijl P en h zeer klein zijn,

$$P = h \frac{\cos (b - d)}{\cos d}.$$

b. Invloed van de collimatiefout van den kijker.

Ligt de omwentelingsas van den kijker horizontaal, doch maakt de optische as met het Oostelijke gedeelte der eerstgenoemde een hoek $90^\circ - c$, dan beschrijft de middeldraad bij de beweging des kijkers een kleinen cirkel aBb, fig. 98, evenwijdig aan den meridiaan $CAPD$, en Oostwaarts van dezen gelegen. Wordt dus een ster in B waargenomen, dan is weder hoek BPA, of haar Oostelijke uurhoek, de maat van den tijd, die er nog verloopen moet, alvorens de ster in den meridiaan komt en mitsdien de verbetering, die bij den waargenomen doorgangstijd moet gevoegd worden. Is weder BA loodrecht op den meridiaan, dan hebben wij

$$\text{tang } P = \frac{\text{tang } AB}{\sin AP} = \frac{\text{tang } c}{\cos d}$$

of

$$P = c \sec d$$

waarin c de collimatiefout beteekent.

c. Invloed van de azimuthale afwijking des kijkers.

Is ten slotte de as van den kijker horizontaal en de collimatiefout nul, doch wijkt de middeldraad een hoek a aan den Oostelijke zijde van den meridiaan af, dan zal die draad door de beweging des kijkers een grooten cirkel beschrijven, die door het toppunt gaat. Is dus CTD, fig. 99, de meridiaan, B de waargenomen ster, en hoek $ATB = a$ de Oostelijke azimuthale afwijking van het werktuig, dan hebben wij:

$$\text{tang } P = \frac{\text{tang } AB}{\sin AP} \quad \text{en} \quad \text{tang } AB = \sin AT \text{ tang } ATB$$

waaruit

$$\text{tang}\, P = \text{tang}\, ATB \frac{\sin AT}{\sin AP}$$

of

$$P = a \frac{\sin (b - d)}{\cos d}.$$

Nemen wij benaderender wijze aan, dat de totale fout, die uit den onjuisten stand des kijkers voortvloeit, gelijk is aan de som der gedeeltelijke fouten, en noemen wij T den waargenomen doorgangstijd door den middeldraad, T' daarentegen de aanwijzing der pendule op het oogenblik, waarop het hemellicht voorbij den meridiaan gaat, dan is, als wij de fouten van het werktuig Oostelijk stellen,

$$T' = T + h \frac{\cos (b - d)}{\cos d} + c \sec d + a \frac{\sin (b - d)}{\cos d}.$$

Is voorts α de bekende rechte-opklimming van het hemellicht en F de fout der pendule, ten opzichte van den sterretijd, dan is

$$F = \alpha - T' = \alpha - \left(T + h \frac{\cos (b - d)}{\cos d} + c \sec d + a \frac{\sin (b - d)}{\cos d}\right)$$

waardoor de fout F kan gevonden worden. Is daarentegen de correctie F der pendule bekend, dan kan men door die formule α berekenen.

Om een denkbeeld te geven van de wijze, waarop de fouten van het werktuig uit waarnemingen kunnen worden afgeleid, stellen wij, dat de helling der as, met behulp van het niveau, nauwkeurig bepaald zij. Men neemt de doorgangen van α of δ Ursae minoris aan eenige zijdraden waar, legt het werktuig om en herhaalt de waarneming van den doorgang van dezelfde ster aan de zijdraden. Zijn nu T en T' de oogenblikken van doorgang door den middeldraad, zooals die zijn afgeleid uit de waargenomen doorgangstijden aan de zijdraden, voor en na de omlegging, nadat deze voor de helling van den kijker verbeterd zijn, dan hebben wij:

$$Æ\ \text{ster} = \alpha = T + F + c \sec d + a \frac{\sin (b - d)}{\cos d}$$

$$Æ\ \text{ster} = \alpha = T' + F - c \sec d + a \frac{\sin (b - d)}{\cos d}$$

waaruit, als wij deze vergelijkingen van elkander aftrekken en c oplossen:

$$c = \frac{T' - T}{2 \sec d} = \tfrac{1}{2} (T' - T) \cos d.$$

De groote declinatie van de bedoelde sterren maakt, dat de coëfficient $\cos d$ zeer klein is; een fout in T' of T begaan heeft dus weinig invloed op de collimatiefout c.

Zijn de collimatiefout en de helling bekend, dan geeft ons de waarneming van twee sterren, welker declinatiën d en d', en welker rechte-opklimmingen α en α' zijn, het navolgende stel vergelijkingen, als de eerstgenoemde fouten in rekening zijn gebracht:

$$\alpha = T + F + a \frac{\sin(b - d)}{\cos d}$$
$$\alpha' = T' + F + a \frac{\sin(b - d')}{\cos d'}$$

waaruit

$$\alpha' - \alpha = T' - T + a \left\{ \frac{\sin(b - d')}{\cos d'} - \frac{\sin(b - d)}{\cos d} \right\}$$
$$= T' - T + a \left\{ \frac{\sin b \cos d' - \sin d' \cos b}{\cos d'} - \frac{\sin b \cos d - \sin d \cos b}{\cos d} \right\}$$
$$\alpha' - \alpha = T' - T + a \cos b \frac{\sin(d - d')}{\cos d \cos d'}$$

en dus

$$a = \frac{(\alpha' - \alpha) - (T' - T)}{\cos b} \cdot \frac{\cos d \cos d'}{\sin(d - d')}.$$

Uit deze formule ontwaart men, dat het ter bepaling van a raadzaam is, de waarnemingen van zulke sterren met elkander te verbinden, welker declinatiën veel en zoo mogelijk 90° verschillen.

Neemt men kort na elkander de doorgangen van eenige sterren waar, waarvan de rechte-opklimmingen zijn α, α', α'' en α''', zijn de overeenkomstige aanwijzingen van de pendule voor de helling verbeterd, T, T', T'' en T''', en is het tijdsverloop, binnen hetwelk de waarnemingen verricht zijn, zoo kort, dat de correctie F der pendule als standvastig mag worden aangemerkt, dan zullen wij, indien de kijker met de as, na de beide eerste waarnemingen wordt omgelegd, het navolgende stel vergelijkingen hebben:

$$\alpha = T + F + \beta c + \delta a$$
$$\alpha' = T' + F + \beta' c + \delta' a$$
$$\alpha'' = T'' + F - \beta'' c + \delta'' a$$
$$\alpha''' = T''' + F - \beta''' c + \delta''' a$$

waarin β, β', enz. δ, δ', enz. de coëfficienten sec d en $\frac{\sin(b-d)}{\cos d}$ voor elke ster beteekenen, en waaruit, behalve F, ook c en a kunnen worden opgelost.

Ofschoon drie vergelijkingen hiertoe voldoende zouden kunnen geacht worden, zoo wordt de nauwkeurigheid zeer bevorderd, als men de resultaten uit een grooter aantal waarnemingen afleidt, dewijl deze immer met kleine fouten zijn aangedaan. Voor zeer nauwkeurige tijdsbepalingen worden in plaats van vier, zes goed bepaalde sterren waargenomen,

die men zoodanig kiest, dat de helft van de coëfficienten van a negatief is. Hiertoe neme men dan eenige sterren welker declinatiën ongeveer 90° verschillen en andere die hoog en laag staan.

In het volgende voorbeeld zullen wij doen zien, hoedanig de fouten van het werktuig uit de waarnemingen kunnen worden afgeleid. Wij bepalen ons daarbij echter alleen tot de vroeger genoemde drie hoofdzaken, en gaan andere fouten, als de ongelijkheid der tappen, de buiging des kijkers, een ongelijke uitzetting, enz. met stilzwijgen voorbij.

Voorbeeld. Den 11[den] Januari 18..., zijnde op 52°30′ N. Br. worden doorgangen waargenomen van α Ursae minoris en van θ^1 Ceti. De aanwijzingen van de pendule, tot den middeldraad herleid en voor de helling verbeterd, waren bij de waarneming

van α Ursae minoris	$5^u\ 6^m 10^s,4$
„ „ „	$5^u\ 6^m 19^s,8$ (na omlegging)
„ θ Ceti	$5^u 14^m 34^s,2$.

Men vraagt de collimatiefout en de azimuthale afwijking van den kijker, benevens de fout der pendule.

De schijnbare plaatsen voor het oogenblik der waarneming waren:

α Ursae minoris	$\alpha = 1^u 10^m\ 0^s,5$	$d = 88^\circ 35^m 45^s,6$ N
θ^1 Ceti	$\alpha' = 1^u 17^m 17^s,14$	$d' = 8^\circ 52^m 55^s,7$ Z.

De berekening is nu als volgt:

T of 1ˢ waarn. α Ursae minoris $=$	$5^u 6^m 10^s,4$		
T' „ 2ˢ „ „ „ „ $=$	$5^u 6^m 19^s,8$		
$T' - T =$	$9^s,4$		
$\frac{1}{2}(T' - T) =$	$4^s,7$	....	$\log = 0,672098$
$d =$	$88^\circ 35^m 45^s,6$	....	$\cos = 8,389201$
			$\log c = 9,061299$
		Collimatiefout	$c = 0''1151$ (+).

Verbeteren wij de doorgangen voor deze fout, dan is

voor α Ursae minoris:

$T =$	$5^u 6^m 10^s,4$
$c.\sec d =$	$4^s,7$
Verb. doorg. $=$	$5^u 6^m 15^s,1$

voor θ^1 Ceti:

$d' = 8^\circ 52^m 55^s,7$	...	$\sec = 0.005240$
$c = 0'',1151$	...	$\log = 9,061299$
		log verb. $= 9,066539$
		verb. $= 0^s,116$
		doorgang θ^1 Ceti $= 5^u 14^m 34^s,2$
		Verbeterde doorg. $= 5^u 14^m 34^s,3$.

Berekening van de correctiefactoren voor de azimuthale afwijking.

$b = 53^\circ 30'\ 0''$	$b = 52^\circ 30'\ 0''$
$d = 88^\circ 35' 45'',6$ (+) $\sec = 1,610799$	$d' = 8^\circ 52' 55'',7$ (−) $\sec = 0,005240$
$b - d = 36^\circ\ 5' 45'',6$ (−) $\sin = 9,770218$	$b - d' = 61^\circ 22' 55'',7$ (+) $\sin = 9,943412$
log factor $= 1,381017$	log factor $= 9,948642$
factor $= -24,041$	factor $= +0,8885$,

Wij hebben dus

$$
\begin{array}{rl}
1^u10^m\ 0,5 & = 5^u\ 6^m15^s,1 + F - 24,041\ a \\
1\ 17^m17^s,14 & = 5^u14^m34^s,3 + F + \ \ 0,889\ a \\
\hline
7^m16^s,64 & = \ \ \ 8^m19^s,2 + 24,93\ a \\
24,93\ a & = -1^m,2^s,56 \\
\text{azimuthale afwijking}\ a & = -2^s,509
\end{array}
$$

en voor de fout F der pendule

$$1^u17^m17^s,14 = 5^u14^m34^s,3 + F - 0,889 \times 2^s,509$$

waaruit

$$F = -3^u57^m14^s,93.$$

Wil men de azimuthale afwijking a berekenen, naar de formule:

$$a = \frac{(\alpha' - \alpha) - (T' - T)}{\cos b} \cdot \frac{\cos d \cos d'}{\sin (d - d')}$$

dan komt de bewerking aldus te staan:

$$
\begin{array}{rll}
\alpha' = & 1^u17^m17^s,14 & \\
\alpha = & 1^u10^m\ 0^s,50 & \\
\hline
\alpha' - \alpha = & 7^m16^s,64 & \\
T' = & 5^u14^m34^s,3 & \\
T = & 5^u\ 6^m15^s,1 & \\
\hline
(T' - T) = & 8^m19^s,2 & \\
(\alpha' - \alpha) - (T' - T) = & -\ 1^m\ 2,56 & \log = 1,796297\ (-) \\
d = & 88^\circ35'45'',6 & \cos = 8,389201 \\
d' = & -\ 8^\circ52'55'',7 & \cos = 9,994760 \\
\hline
d - d' = & 97^\circ28'41'',3 & \text{cosec} = 0,003710 \\
b = & 52^\circ30'\ 0'' & \sec = 0,215553 \\
\hline
 & & \log a = 0,399521 \\
 & & a = \ \ 2^s,509\ (-)
\end{array}
$$

als te voren.

Vertoont het hemellicht zich als een schijf, dan neemt men de oogenblikken waar, waarop de randen van de schijf de draden raken. Bij de herleiding van de waarnemingen tot den middeldraad moet uit den aard der zaak op de eigen beweging en op de parallaxis van het hemellicht worden acht gegeven.

4°. Bepaling van de declinatie.

Om de declinatie van een vaste ster te bepalen, richt men den kijker op het hemellicht, bij zijn doorgang door den meridiaan, en leest in dien stand de cirkels af. Het verschil tusschen deze aflezingen en die van het poolpunt zal de poolsafstand der ster zijn, die, van 90° afge-

trokken, en voor refractie en aberratie verbeterd, de gevraagde declinatie zal geven.

Doet het hemellicht zich als een schijf voor, dan richt men den kijker op het midden van het schijfje, of beurtelings op den boven- en onderrand, of op een der randen. In het laatste geval, heeft men dan de schijnbare halve middellijn van het hemellicht bij de aflezing van de cirkels in rekening te brengen, om de schijnbare declinatie van het middelpunt te verkrijgen, terwijl men op de parallaxis van het hemellicht in al die gevallen acht geeft. Heeft men beurtelings den bovenrand en den onderrand waargenomen, dan brengt men, voor iedere aflezing afzonderlijk, de verbetering voor de refractie aan, en neemt uit de verbeterde aflezingen het gemiddelde.

5°. Bepaling van de rechte-opklimming.

Heeft men, op twee achtereenvolgende dagen, de doorgangen van de zon en van een ster waargenomen en tevens de declinatie der zon bepaald, dan kan door de verbinding van deze waarnemingen de rechte-opklimming der ster en ook de helling der ecliptica worden gevonden. Zij namelijk

α de gevraagde rechte-opklimming der ster,
T en T'' het verschil der doorgangstijden in sterretijd, of, wat op hetzelfde neêrkomt, het verschil der rechte-opklimmingen van de zon en de ster,
d en d' de declinatie der zon.
φ de helling der ecliptica,

dan is in den rechthoekigen bolvormigen driehoek, gevormd door den equator, de ecliptica en den declinatie-cirkel der zon, bij de eerste waarneming:

$$\sin(T+\alpha)\operatorname{tang}\varphi = \operatorname{tang} d$$

en bij de tweede:

$$\sin(T''+\alpha)\operatorname{tang}\varphi = \operatorname{tang} d'$$

met behulp van welke vergelijkingen α en φ kunnen berekend worden.

Wil men α bepalen, onafhankelijk van φ, dan kan daartoe de volgende weg worden ingeslagen. Omstreeks de equinox neemt men, gedurende eenige achtereenvolgende dagen, de doorgangen van de zon en van de ster waar, en bepaalt tevens de declinatie der zon. Met behulp van de bekende declinatie-verandering van de zon, berekent men het oogenblik, waarop hare declinatie nul is, en eindelijk uit het verschil der doorgangstijden, hoe groot het verschil in rechte-opklimming der bedoelde hemellichten is.

Voorbeeld. Op een pendule, die naar sterretijd geregeld is, en waarvan de gang niet geheel gelijk nul is, zijn waargenomen:

den 20sten Maart ten $23^u58^m30^s$ doorgang middelpunt der zon (1)
„ „ „ $2^u\ 0^m14^s$ „ α Arietis

en vervolgens

den 21sten Maart ten $0^u2^m12^s$ doorgang middelpunt zon
„ „ „ $2^u0^m17^s$ „ α Arietis.

De declinatie der zon was:

den 20sten Maart Zuid 0°15′11″
„ 21 „ Noord 0° 8′30″,

men vraagt de rechte-opklimming van α Arietis.

Door de rechte-opklimming van α Arietis wordt verstaan, het verschil in sterretijd tusschen den meridiaans-doorgang van α Arietis en dien van het punt ♈.

Nu vindt men uit bovenstaande getallen voor het verschil in pendule-tijd tusschen de meridiaans-doorgangen van α Arietis en de zon:

den 20 Maart $2^u\ 1^m44^s$, bij een ⊙ declinatie = 15′11″ Zuid
„ 21 „ $1^u58^m\ 5^s$ „ „ „ = 8′30″ Noord
verschil = -3^m39^s 23′41″.

Het punt ♈ ligt blijkbaar tusschen de beide punten in, waar het zons-middelpunt op den 20sten en 21sten Maart is, en daar deze punten op een baan van een grooten cirkel van niet al te groote uitgebreidheid liggen, kan men met voldoende nauwkeurigheid aannemen, dat van twee punten in dien boog de verschillen in rechte-opklimming en in declinatie evenredig zijn. Nu komt met een verandering in de zons-declinatie van 23′41″, een verandering in het verschil Æ ster — Æ zon van 3^m39^s overeen; wij moeten dus de evenredigheid oplossen:

$$23'41'' : 15'11'' = -3^m39^s : x \quad \text{of} \quad 1421 : 911 = -219 : x$$

en vinden nu:

$$x = -140^s,4 = -2^m20^s,4.$$

Dit aftrekkende van $2^u1^m44^s$, verkrijgen wij voor het verschil in pendule-tijd tusschen de meridiaans-doorgangen van het punt ♈ en α Arietis:

$$1^u59^m23^s,6,$$

en dit verschil moet nu alleen voor den gang der pendule gecorrigeerd worden.

Nu blijkt uit de beide doorgangen van α Arietis dat $24^u0^m3^s$ pendule-tijd $= 24^u0^m0^s$ sterretijd is; de correctie voor 24^u is dus -3^s, en voor $1^u59^m23^s,6 \ldots -0^s,25$, zoodat wij vinden voor de rechte-opklimming van α Arietis $1^u59^m23^s,35$.

(1) Daar de doorgang van dit middelpunt niet kan waargenomen worden, wordt het oogenblik van dien doorgang gevonden door de doorgangen der beide randen waar te nemen, en het midden dezer beide tijden te nemen.

Dit resultaat is nu de schijnbare rechte-opklimming van α Arietis voor $20_{1}^{2}{}_{3}^{1}{}_{2}^{1}{}_{1}$ Maart; verlangt men daarentegen de middelbare rechte-opklimming dier ster voor hetzelfde tijdstip te weten, dan moet het nog voor aberratie en nutatie gecorrigeerd worden; verlangt men die middelbare Æ echter voor een ander tijdstip, b. v. den aanvang des jaars, te kennen, dan moet nog de correctie voor praecessie en, zoo noodig, voor eigen beweging der ster worden toegepast.

Het is hier de plaats om aan te toonen, op welke wijze de helling der ecliptica met groote nauwkeurigheid kan bepaald worden. Men neemt daartoe den doorgang der zon waar gedurende eenige dagen, omstreeks het tijdstip, waarop zij zich in een der solstitiën bevindt, en bepaalt tevens hare declinatie.

Is volgens een der gegeven manieren de rechte-opklimming eener ster met tamelijke nauwkeurigheid bekend, dan zal men ook de rechte-opklimming van de zon voor de bedoelde tijdstippen uit het verschil der doorgangstijden van de zon en de ster tamelijk nauwkeurig kunnen afleiden.

Zij α de aldus bepaalde rechte-opklimming van de zon, en x de hoeveelheid, die daaraan ontbreekt om gelijk 90° te zijn, dan is $x = 90° - \alpha$. Noemen wij voorts de declinatie der zon d en de helling der ecliptica φ, dan is

$$\text{tang}\, d = \text{tang}\, \varphi \sin \alpha$$

of

$$\text{tang}\, d = \text{tang}\, \varphi \cos x.$$

Ontwikkelt men x, die altijd klein is, volgens de leerwijze der onbepaalde coëfficienten in een reeks, dan komt er

$$\varphi = d + \text{tang}\, \tfrac{1}{2} x^2 \sin 2\, d + \tfrac{1}{2}\, \text{tang}\, \tfrac{1}{2} x^4 \sin 4\, d + \ldots$$

waaruit, door het sterk convergeeren der reeks, de helling met behulp van de drie eerste termen nauwkeurig gevonden wordt. Een kleine fout in x oefent een zeer geringen invloed op φ uit. Het middental van φ, genomen uit de waarneming op verschillende dagen, zal een zeer nauwkeurig resultaat opleveren.

Is φ nauwkeurig bekend, en noemen wij R de rechte-opklimming der zon, tijdens hare nabijheid van het voorjaars-nachteveningspunt, d hare declinatie, T het verschil der doorgangstijden van de zou en de ster, en α de rechte-opklimming der ster, dan is

$$\text{tang}\, d = \text{tang}\, \varphi \sin R$$

of

$$R = \text{boog sinus} \frac{\text{tang}\, d}{\text{tang}\, \varphi}$$

en dus

$$\alpha = R + T = \text{boog sinus}\,\frac{\text{tang}\,d}{\text{tang}\,\varphi} + T.$$

Herhaalt men de waarneming van het verschil der doorgangstijden, als de zon in de nabijheid van het herfst-nachteveningspunt staat, dan heeft men, als hare declinatie d' en het genoemde verschil T' is:

$$\alpha = 180^\circ - \text{boog sinus}\,\frac{\text{tang}\,d'}{\text{tang}\,\varphi} + T',$$

uit welke vergelijkingen men alzoo vindt:

$$\alpha = 90^\circ + \tfrac{1}{2}(T + T') + \tfrac{1}{2}\left(\text{boog sinus}\,\frac{\text{tang}\,d}{\text{tang}\,\varphi} - \text{boog sinus}\,\frac{\text{tang}\,d'}{\text{tang}\,\varphi}\right).$$

Door zooveel mogelijk de waarneming te verrichten op tijdstippen, waarbij de gelijknamige declinatie der zon een gelijk bedrag heeft, zullen de fouten in de declinatie en de helling elkander grootendeels vernietigen. Behalve op de verbeteringen, die vroeger genoemd zijn, zal bij de tweede waarneming ook op de praecessie en de nutatie, alsmede op de seculaire verandering der helling acht gegeven moeten worden.

b. DE RELATIEVE PLAATSBEPALING DER HEMELLICHTEN.

Ofschoon alle plaatsbepalingen van hemellichten, die uit het verschil van de doorgangstijden en het verschil der declinatiën met andere bekende hemellichten zijn afgeleid, als betrekkelijk kunnen aangemerkt worden, zoo verstaat men echter onder bovenstaanden naam, meer uitsluitend dezulke, die buiten het vlak van den meridiaan met bijzonder daartoe ingerichte werktuigen zijn geschied.

1°. De kijker op parallatischen voet.

Denken wij ons een as, die naar de pool des hemels gericht is en daaraan een verdeelden cirkel rechthoekig verbonden, dan zal het vlak van dien cirkel evenwijdig loopen aan dat van den equator, of liever, daarmede overeenstemmen. Denken wij ons verder een kijker, evenwijdig aan een vlak, dat door de genoemde as gaat, en beweegbaar om een tweede as, die rechthoekig verbonden is met de eerste. Is nu ook aan de tweede as een verdeelde cirkel loodrecht aangebracht, dan zal het vlak daarvan evenwijdig aan den kijker zijn en altijd met een declinatie-cirkel overeenstemmen. Door deze inrichting, kan de kijker op elk willekeurig punt des hemels gericht worden.

De aflezing op den eersten cirkel behoort den uurhoek, die op den tweeden cirkel, hetzij de declinatie, hetzij den poolsafstand te doen kennen.

Uit den uurhoek der ster en den sterretijd op het oogenblik der waarneming, die wij als bekend aannemen, zal dan de rechte-opklimming der ster gevonden kunnen worden.

Deze manier om de rechte-opklimming en de declinatie van een ster te bepalen is niet zeer nauwkeurig, omdat men niet in staat is de verbeteringen voor den onjuisten stand van het werktuig, de doorbuiging, enz. met die zorg te bepalen, als vereischt wordt om een goed resultaat te verkrijgen, zooals bij de meridiaanwerktuigen wel het geval is.

Om nu met den aldus ingerichten kijker toch nauwkeurige resultaten te verkrijgen, verbindt men daaraan een afzonderlijk werktuig, mikrometer genoemd, ten einde kleine verschillen in plaats en kleine afstanden te meten, indien men het onbekende hemellicht door den afstand van en de richting tot een nauwkeurig bekend hemellicht wil uitdrukken.

Zijn de cirkels van het werktuig groot en zorgvuldig verdeeld, dan draagt het werktuig den naam van equatoriaal; is er daarentegen meer zorg aan den kijker besteed, en dienen de cirkels hoofdzakelijk voor het instellen, d. i., het ten naastenbij richten van den kijker, dan draagt het den naam van parallatischen kijker, of kijker op parallatischen voet.

Onder de verschillende mikrometers verdienen twee meer in het bijzonder de aandacht, waarom wij zullen trachten daarvan een beknopte beschrijving te geven.

2°. De mikrometer met beweegbaren draad.

Dit werktuig, dat aan het oogeinde van den kijker bevestigd wordt, bestaat uit twee platen, waarvan de eene met behulp van een schroef over de andere kan heenschuiven. In iedere plaat is een opening en over elke opening is een fijne spinragdraad *dd'* en *cc'*, fig. 100, zoodanig gespannen, dat bij het verschuiven van de plaat de genoemde draden steeds evenwijdig zijn. Een derde spinragdraad *ab* snijdt de beide andere rechthoekig. De geheele toestel is voorts om de buis van den kijker beweegbaar, zoodat de draden alle mogelijke richtingen kunnen aannemen in het vlak, dat wij ons rechthoekig op den kijker kunnen denken. Een verdeelde cirkel aan de buis van den kijker verbonden, veroorlooft de aflezing van den stand der draden in het genoemde vlak, terwijl een tweede verdeeling den waarnemer in staat stelt om de verplaatsing te bepalen, die hij den beweegbaren draad *c* door de schroef doet ondergaan.

Ten einde het laatstgenoemde punt wel te verstaan, denke men zich den rand van den schroefkop, waarmede de draad verplaatst wordt, in

honderd gelijke deelen gedeeld en voorts daarbuiten een vast punt. Is nu de draad volkomen in overeenstemming met den vasten draad *dd'*, en wordt hij daarna in den stand *cc'* gebracht, dan zal men gemakkelijk kunnen nagaan, hoeveel volle omwentelingen de schroef daartoe heeft moeten maken, of, zoo er nog een gedeeltelijke omwenteling heeft plaats gehad, hoeveel honderdste deelen daarvan bij het volle aantal moeten gevoegd worden. Is voorts met zorg bepaald, met hoeveel secunden een volle schroefomgang overeenkomt, dan zal, wanneer wij aannemen, dat de schroef regelmatig is, ook lichtelijk gevonden kunnen worden, hoe groot de afstand van de draden *dd'* en *cc'* is, in secunden uitgedrukt. Wij zullen straks zien op welke wijze de grootte van een schroefomgang kan bepaald worden.

Ten einde het werktuig voor de relatieve plaatsbepaling van een hemellicht te bezigen, richt men den kijker op een ster, die in de nabijheid van het bedoelde hemellicht staat en geeft aan de evenwijdige draden een zoodanigen stand, dat de ster bij den doorgang van het veld des kijkers steeds langs den draad *dd'* loopt; *cc'* en *dd'* zijn dan nagenoeg evenwijdig aan de richting der dagelijksche beweging, en *ab* zal nagenoeg een gedeelte van een declinatie-cirkel voorstellen. Neemt men dan het oogenblik waar, waarop een bekende ster, bijv. in *e*, den draad *ab* voorbijgaat, en daarna het oogenblik, waarop, bij onveranderden stand des kijkers, de onbekende ster den draad *ab*, b. v. in *f*, snijdt, dan zal het verschil dier tijden, op zeer weinig na, het verschil zijn van de rechte-opklimmingen dier hemellichten. Brengt men op het oogenblik, waarop de onbekende ster zich in het veld van den kijker vertoont, den beweegbaren draad *cc'* met haar in aanraking, dan zal het verschil tusschen de aflezing van de schroef in dezen stand, en die, welke men verkrijgt, als men den draad *cc'* op *dd'* brengt, op zeer weinig na, het verschil der declinatiën van de beide hemellichten in schroefomgangen zijn, dat vervolgens in secunden kan worden uitgedrukt. De invloed van de refractie, die de schijnbare plaatsen der hemellichten naar gelang van hunne declinatiën wijzigt, moet bij deze waarnemingen in rekening worden gebracht, als men uit de schijnbare, de ware verschillen in rechte-opklimming en declinatie wil afleiden.

Staan de bedoelde hemellichten dicht bij elkander, zoodat zij zich gelijktijdig in het veld van den kijker vertoonen, dan kan het verschil in rechte-opklimming en in declinatie op de volgende wijze bepaald worden. Men draait den toestel tot dat de draad *ab*, fig. 101, beide hemellichten dekt en laat de bekende ster met den draad *dd'* overeenkomen, terwijl men den beweegbaren draad *cc'* op de onbekende ster brengt. Om vervolgens den afstand tusschen de beide sterren te bepalen, brengt men den draad *cc'* op *dd'*, en leidt, op dezelfde wijze als vroeger het verschil der declinatiën, uit het aantal schroefomgangen den afstand in secunden af.

De richting, waarin zich de beide hemellichten bevinden, wordt door den zoogenoemden **positiehoek** aangegeven. Men verstaat hierdoor den hoek, dien de lijn, welke men zich door de beide hemellichten kan denken, maakt met den declinatie-cirkel van het punt, dat tusschen de beide hemellichten inligt. Stelt men eerst de parallelle draden evenwijdig aan de richting der dagelijksche beweging, en leest men daarbij op den cirkel, die aan het oculair verbonden is, den stand van den mikrometer af, dan zal het verschil tusschen deze aflezing en die, welke men verkrijgt als de draad ab de beide hemellichten bedekt, den gevraagden positiehoek doen kennen.

Wenscht men het verschil der rechte-opklimmingen en der declinatiën van de beide hemellichten uit den gemeten afstand en de positiehoeken te berekenen, dan heeft men in acht te nemen, dat in den bolvormigen driehoek, die door de beide hemellichten en de pool gevormd wordt, de drie zijden zijn: de afstand a en de poolsafstanden $90° - d$ en $90° - d'$, terwijl de overstaande hoeken het verschil der rechte-opklimmingen $(\alpha' - \alpha)$, $180° - p'$ en p zijn, als p' en p de positiehoeken der hemellichten, d en d' hunne declinatiën en α en α' hunne rechte-opklimmingen beteekenen. Staan de hemellichten dicht bij elkander, dan kunnen wij p en p' aan elkander gelijk stellen. Beschouwen wij nu den afstand a als een verheid en p als een koers, dan wordt $(\alpha' - \alpha)$ de veranderde Lengte en $(d' - d)$ de veranderde Breedte, en dus volgens de formules der zeilaadjes:

$$d' - d = a \cos p$$
$$\alpha' - \alpha = a \sin p \sec \tfrac{1}{2} (d + d').$$

Ook bij deze waarnemingen moet de refractie in rekening worden gebracht.

Ten einde de waarde van een schroefomgang te bepalen, richt men den kijker op een ster, die in de nabijheid van de pool staat, en stelt den draad ab, fig. 100, evenwijdig aan de richting der dagelijksche beweging. De ster en de draad van den mikrometer moeten beiden goed scherp gezien kunnen worden, hetgeen het bewijs oplevert, dat de mikrometer, zoowel in het brandpunt van het objectief, als in dat van het oculair staat. Men verwijdert dan de draden dd' en cc' van elkander, door de schroef een vol aantal omwentelingen te laten maken, en neemt, bij dien stand der draden, de doorgangen van de bovengenoemde ster waar. Is dan t het aantal secunden, in boog uitgedrukt, dat er tusschen de bedoelde doorgangen verloopen is, en d de declinatie der ster, dan is, naar aanleiding van hetgeen wij op bladz. 272 opmerkten, $t \cos d$ de afstand der draden in boogsecunden uitgedrukt. Dit getal, gedeeld door het aantal schroefomgangen, dat met den afstand der draden overeenstemt, zal de waarde van één schroefomgang in boogsecunden zijn.

Het zal duidelijk zijn, dat de waarde van den schroefomgang verandert, als de afstand van den mikrometer tot het objectief anders wordt.

Bij metingen moet de mikrometer juist de plaats innemen, die hij ten opzichte van het objectief had, toen de waarde van den schroefomgang bepaald werd, zal men deze waarde kunnen bezigen. Dit is ook van toepassing op den dradenafstand bij den meridiaan-cirkel.

3°. De cirkel-mikrometer.

Deze bestaat uit een zeer zuiver afgedraaiden metalen ring, bevestigd op een glazen plaat, welke laatste in het brandpunt des kijkers geplaatst is.

Laat S een bekende, S' een onbekende ster zijn, fig. 102, dan kan men bij een onveranderden stand des kijkers de oogenblikken waarnemen, waarop beide sterren in de punten a, c, e en g achter den ring verdwijnen, en in de punten b, d, f en h weder te voorschijn treden. Klaarblijkelijk zal het arithmetisch middental uit de tijden, waarop S in de punten a, b, c en d was, het oogenblik zijn, dat zij zich in p heeft bevonden, terwijl op overeenkomstige wijze kan worden bepaald het oogenblik, waarop S' in q was. De punten p en q zijn gelegen in den declinatie-cirkel, die door het middelpunt van den ring kan gedacht worden, en bij gevolg zal het verschil tusschen de laatstgenoemde tijden het verschil zijn der rechte-opklimmingen van de beide hemellichten.

Kent men de stralen van den binnen- en buiten-cirkel van den ring, dan kunnen de afstanden Op en Oq van de koorden, die de sterren hebben doorloopen, tot het middelpunt berekend worden, en de hierdoor gevonden afstand pq zal het verschil van de declinatiën der beide hemellichten zijn. Tot de berekening der bedoelde afstanden, heeft men slechts acht te geven op de tijdsverloopen tusschen de standen van de sterren in de punten a en d, b en c, e en h, f en g.

Zijn bijv, d en α de declinatie en de rechte-opklimming van de ster S, d' en α' die van de andere ster S', t en t' de oogenblikken, waarop S in de punten a en d, t_0 en t'_0 die, waarop S' in de punten e en h is en is R de straal van den buiten-cirkel, dan komt:

$$\alpha' - \alpha = \tfrac{1}{2}(t_0 + t'_0) - \tfrac{1}{2}(t + t').$$

Voorts hebben wij, zooals lichtelijk zal worden ingezien:

$$dp = \tfrac{15}{2}(t' - t)\cos d$$
$$hq = \tfrac{15}{2}(t'_0 - t_0)\cos d'$$

en vervolgens:

$$Op = dO \cos dOp = R\cos\varphi$$
$$Oq = hO \cos hOq = R\cos\varphi'$$

waaruit door optelling:

$$pq = d' - d = R(\cos\varphi + \cos\varphi')$$

terwijl φ en φ' gevonden worden met behulp der formules:

$$\sin\varphi = \frac{dp}{R} \quad \text{en} \quad \sin\varphi' = \frac{hq}{R}.$$

Vallen de koorden aan dezelfde zijde van het middelpunt O, dan moet het verschil van Op en Oq genomen worden. De gevonden verschillen zijn schijnbaar, en moeten voor refractie verbeterd worden.

Wij hebben ons hier bepaald tot de waarneming aan den buiten-cirkel van den ring, ten einde de zaak eenigszins te vereenvoudigen. Verricht men de waarneming, zoowel aan den buiten- als aan den binnen-cirkel, hetgeen natuurlijk een nauwkeuriger resultaat geeft, dan vindt men het verschil der declinatiën met behulp van meer ingewikkelde formules, welker ontwikkeling wij hier overbodig achten.

De nauwkeurigste resultaten worden met den cirkel-mikrometer verkregen, als de beide hemellichten ter wederzijde, op gelijke afstanden van het middelpunt van den ring, door het veld van den kijker gaan. Het verschil der rechte-opklimmingen zal het nauwkeurigst bepaald worden, als de beide sterren dicht bij het middelpunt door het veld van den kijker gaan; dat der declinatiën daarentegen, als de afstanden ter wederzijde van het genoemde middelpunt groot zijn.

Om de grootte van den straal van den ring te bepalen, neemt men de doorgangen waar van twee bekende sterren, welker declinatiën een weinig minder van elkander verschillen dan de middellijn van den ring bedraagt.

Bepalen wij ons, voor de eenvoudigheid, alleen tot den straal R van den buiten-cirkel, en stellen wij de halve koorde $ad = k$ en de halve koorde $eh = k'$, $Op = x$, $Oq = y$, de declinatie van $S = d$, die van $S' = d'$ en den tijd door S besteed om ad te doorloopen T, dien door S' gebezigd T', dan is

$$ad = 15\, T \cos d = 2\, k$$
$$eh = 15\, T' \cos d' = 2\, k'$$
$$R^2 = x^2 + k^2 = y^2 + k'^2$$

waaruit

$$x^2 - y^2 = k'^2 - k^2.$$

Stellen wij vervolgens $x + y = m$, het bekende verschil in declinatie van de hemellichten S en S', dan is

$$x - y = \frac{k'^2 - k^2}{m}$$
$$x + y = m$$

en dus

$$x = \tfrac{1}{2} m + \tfrac{1}{2} \frac{k'^2 - k^2}{m}, \; y = \tfrac{1}{2} m - \tfrac{1}{2} \frac{k'^2 - k^2}{m}$$

waardoor R gevonden kan worden.

Het verschil van de declinatiën m moet voor de berekening van R eerst schijnbaar worden gemaakt, d. i. men behoort voor m te nemen het verschil der met refractie aangedane declinatiën.

4⁰. De heliometer.

De relatieve plaatsbepaling der hemellichten kan nog geschieden met behulp van den heliometer. Dit werktuig is een kijker, waarvan het objectief is doorgesneden, en dat alzoo uit twee helften bestaat, die elk, evenwijdig aan de lijn, volgens welke het glas is doorgesneden, verplaatst kunnen worden. Deze verplaatsing kan op een schaal worden afgelezen. De objectiefhelften zijn zoodanig gevat, dat zij om de as van den kijker kunnen gedraaid worden, zoodat de lijn, waaronder het objectief is doorgesneden, alle mogelijke standen kan aannemen in het vlak, dat wij ons loodrecht op de as des kijkers kunnen denken. Een verdeelde cirkel, om de buis des kijkers, veroorlooft de aflezing van de verschillende standen, waarin de genoemde lijn gebracht wordt.

Vormen de beide objectiefhelften een volle schijf, dan ontwaart men van een ster slechts één beeld. Bij de verplaatsing echter van een der helften, ontwaart men twee beelden, en steeds zal de rechtlijnige afstand dier beelden gelijk zijn aan, en gemeten worden door de verplaatsing, die de eene objectiefhelft ten opzichte van de andere heeft ondergaan.

Van twee hemellichten ziet men op overeenkomstige wijze, in het laatstgenoemde geval, vier beelden. Wanneer men nu de objectiefhelften zoodanig om de as van den kijker draait en van elkander verwijdert, dat het eene beeld van het eene hemellicht het andere beeld van het andere hemellicht dekt, dan zal de afstand van de middelpunten der objectiefhelften, gedeeld door de brandpuntslengte van het objectief, gelijk zijn aan den tangens van den hoek tusschen de beide sterren, terwijl de richting van de lijn, volgens welke het objectief is doorgesneden, den positiehoek zal aangeven. Om een juist nulpunt van telling voor den laatstgenoemden hoek te hebben, wordt de heliometer tegenwoordig uitsluitend op een parallaktischen voet gebruikt. Staat de eene ster juist benoorden de andere, dan moet de positie-cirkel 0° aanwijzen.

Ook het oculair van dit werktuig is verplaatsbaar, ten einde het brandpunt van het oculair behoorlijk op het beeld te kunnen richten, ingeval het door het verschuiven van een der objectiefhelften buiten de as des kijkers gebracht wordt. In de heliometers van den laatsten tijd

is dit niet noodig, daar de beide helften van het objectief zich automatisch evenveel naar twee verschillende zijden bewegen.

Wij achten het bovenstaande genoegzaam, om zich van den aard van het werktuig eenigermate een denkbeeld te kunnen vormen. De wijze, waarop uit den bedoelden afstand en den positiehoek het verschil der rechte-opklimmingen en der declinatiën van de beide hemellichten wordt afgeleid, met inachtneming van de daarbij behoorende correctiën, kunnen wij hier niet behandelen. Voor nadere bijzonderheden omtrent dit en de vroeger beschreven werktuigen, verwijzen wij naar het meergemelde werk van BRÜNNOW.

Het universaal-instrument.

Dit instrument ontleent zijn naam aan zijne eigenaardige inrichting, waardoor men het met dezelfde juistheid kan bezigen tot het meten van horizontale als van verticale hoeken, dus tot het bepalen zoowel van Azimuths als van hoogten of zeniths-afstanden; terwijl het tevens tot doorgangs-waarnemingen, dus als passage-instrument, kan worden gebruikt Oorspronkelijk is het, naar de opgaven van W. VON STRUVE, door ERTEL te Munchen vervaardigd; later werden dergelijke instrumenten door PISTER en MARTINS te Berlijn, REPSOLD te Hamburg en MEIJERSTEIN te Göttingen geleverd. Vooral REPSOLD maakt zeer schoone universaal-instrumenten van kleine afmetingen, terwijl ze nu ook door de werktuigkundigen AUGUST LINGKE en Co., te Freiberg in Saksen, en TH. WEGENER, den opvolger van PISTOR en MARTINS, te Berlijn worden vervaardigd. Enkele Engelsche en Fransche instrumentmakers (TROUGHTON en SIMMS te Londen, SECRETAN te Parijs) vervaardigen ze ook onder den naam van Théodolite en Alt Azimuth.

Daar ook enkele malen door zee-officieren zulk een instrument gebruikt moet worden, zullen wij een oppervlakkige beschrijving hier laten volgen, terwijl de détails van het instrument bij gebruik gemakkelijk in het oog vallen en niet wel een beschrijving toelaten, daar ze bij instrumenten van verschillende fabriekanten vrij veel uiteenloopen.

Als voorbeeld nemen wij een klein universaal-instrument met mikroskopen van LINGKE; de inrichting daarvan is ongeveer als volgt, zie fig. 4 en 5. Pl. IX[a].

De op drie stalen voetschroeven staande drievoet van messing K is met een verticale stalen as onwrikbaar verbonden; aan deze as is tevens vast verbonden een horizontale verdeelde cirkel A, dienende om hoeken te meten in het horizontale vlak, dus ook Azimuths. Onder dezen cirkel bevindt zich een schijf c, waaraan een klemschroef M is aangebracht. Die schroef, niet aangedraaid zijnde, kan de schijf vrij om de verticale as worden bewogen, terwijl men, door de schroef aan te draaien, die vrije beweging kan verhinderen. Aan de schijf bevinden zich voorts twee naar

boven gaande verdikkingen d' en d''; door de eene gaat de instellingsschroef N heen, terwijl aan de andere d' zich een bus e bevindt, waarin een spiraalveer is besloten, die door de verdikking d' heengaat, en van deze zijde tegen de instellings-schroef tracht aan te drukken.

De verticale as is zelf kegelvormig en draagt een geelkoperen hollen kegel, die er gemakkelijk over kan draaien. Door een klemschroef kan het bovengedeelte worden vastgezet, maar laat nog een fijne beweging door een micrometer-schroef toe. De beide dragers van de horizontale as zijn aan de kegelvormige buis aangebracht, en loopen in vorkvormige tappenlegers uit, waarvan het eene D bijna geheel over een horizontale aslijn, dus in figuur 5 van v tot w, is doorgesneden. Hierdoor blijft een kleine speling in de richting naar boven en naar beneden bestaan. Twee schroefjes h en h' zijn zoodanig aan D aangebracht, dat men er de helften van D mede van elkander kan verwijderen of bij elkander brengen. Door h' los en h vaster aan te draaien, zal men het bovendeel van D wat hooger stellen, terwijl men, om dat deel te doen zakken, h losser en h' vaster moet aanschroeven. Heeft eenmaal het bovendeel van D de gewenschte hoogte verkregen, dan draaie men die schroefjes vast aan, om het veeren van de tappan te beletten. In de vorkvormige pannen ligt de horizontale as van het instrument. Hieraan zijn bevestigd:

1°. De kijker. Daar het een hoofdzaak is dat de steunders der tappannen of van de as onwrikbaar hun stand blijven behouden, moet het instrument zoo laag mogelijk gebouwd worden. Als men dus een kijker wil aanwenden, waarvan de kracht evenredig is aan de nauwkeurigheid der aflezing van het instrument, dan wordt die niet even als bij den meridiaan-kijker midden aan de as bevestigd, maar aan het einde, zooals in het hier beschreven instrument, of wel, men wendt een gebroken kijker aan, zoóals in de instrumenten van REPSOLD, zie figuur 1, 2 en 3 Plaat IX^a. Hierbij zit dan het oculair aan het eene einde der horizontale as, en de voorste helft van den kijker is wel midden aan de as aangebracht, maar de lichtkegels worden door een prisma in de richting der horizontale as teruggekaatst.

2°. De fijn verdeelde hoogte-cirkel. Deze beide deelen zijn door schroeven vast en onveranderlijk aan de horizontale as verbonden, zoodat elke draaiing der as een gelijke beweging van den kijker en den cirkel ten gevolge heeft.

3°. Een om de as draaibare cirkel, die door een klemschroef aan de horizontale as kan worden verbonden.

4°. Een evenzoo om die as draaibare ring, waaraan het vaste niveau, en de ter aflezing van den hoogte-cirkel dienende mikroskopen bevestigd zijn.

5°. De instellings-cirkel O, die door een schroef aan de as is vastgeklemd. De beweegbare cirkels sub 3° en 4° genoemd, loopen naar beneden elk in een arm uit, die tusschen een schroef en een veer worden

ingeklemd. De veer is om een stift gewonden, die met een knop *n* is voorzien, waaraan een stiftje *o* bevestigd is. Als men de knop een weinig terugtrekt en draait, zoodat de laatstgenoemde stift tegen een verdikking van de dragers der as aankomt, dan wordt de eene arm vrij. Op dezelfde wijze kan men den anderen arm losmaken, waardoor men de horizontale as met alle zich daaraan bevindende deelen vrij uit de tappannen kan nemen. Door een schroef kan men den mikroskopendrager en het vaste niveau een kleine beweging geven, terwijl de bij den cirkel sub 3 genoemd (*k* in figuur 4), en den daaraan verbonden arm behoorende schroef *q'*, dient, om, als deze cirkel is vastgeklemd, de horizontale as, den kijker en de cirkels sub 2 en 4 vermeld, een kleine draaiende beweging te geven.

De nivelleering van de horizontale as heeft plaats door het met vorkvormige voeten voorziene losse niveau, dat op die as kan worden geplaatst.

Eindelijk zijn aan het onderste deel van de kegelvormige buis de mikroskopen, die tot de aflezing van den azimuth-cirkel dienen, door middel van sterke schroeven bevestigd. Ook deze mikroskopen kunnen, zoo noodig, elk een weinig zijwaarts worden verplaatst.

Afzonderlijke deelen van het instrument.

1°. De kijkers.

Bij deze instrumenten moet de oogbuis eenigszins anders zijn ingericht dan bij de passage-instrumenten en verticaal-cirkels. Immers het universaal-instrument moet ook dienen om hoeken te meten tusschen aardsche voorwerpen, die zich op betrekkelijk kleine afstanden van den waarnemer bevinden; hierbij zal het beeld, dat door het objectief wordt gevormd, niet in het hoofdbrandpunt, maar verder van het objectief geplaatst zijn. Hiertoe is aan den kijker een inrichting aangebracht, waardoor men den afstand tusschen objectief en dradennet gemakkelijk kan veranderen. Men kan namelijk het oculair verschuiven ten opzichte van het objectief, maar, om verschuivingen door onwillekeurige aanraking van de knop, die tot die verplaatsing dient, te voorkomen, is aan de zijde des kijkers een schroef aangebracht, waardoor de oculair-buis aan den buitenomtrek des kijkers kan worden vastgeklemd.

2°. De cirkels en mikroskopen.

De cirkels zijn verdeeld van 10' tot 10'. Bij elke tiende graadstreep is het daarbij behoorende getal in den rand gegraveerd, terwijl de eenheden bij elke streep zijn aangeduid, daar men anders, bij het zien door den mikroskoop, waarvan het gezichtsveld slechts weinige graden der

verdeeling omvat, in twijfel zoude zijn, welke graadverdeelingen men waarneemt.

De mikroskopen zijn voorzien van draden-mikrometers, dat zijn vierkante doosjes, waarin zich een vierkant raampje bevindt, in hetwelk een paar gekruiste of evenwijdige spinragdraden gespannen zijn. Het raampje kan door een nauwkeurige schroef, mikrometer-schroef genaamd, vooruit en achteruit bewogen worden. De richting, waarin dit geschiedt, is die der verdeeling; zijn de spinragdraden evenwijdig, zooals tegenwoordig nagenoeg algemeen is, dan staan zij loodrecht op die richting en dus evenwijdig aan de strepen der verdeeling, waarop het mikroskoop gericht is.

Het aantal geheele omwentelingen der mikrometer-schroef wordt in het veld aangeduid door een getand stangetje, de onderdeelen eener omwenteling door den trommel, die aan den kop der mikrometer-schroef bevestigd is.

Door het doen van een omwenteling van de mikrometer-schroef en dus van den trommel, worden de spinragdraden ook een deelstreep op den cirkel verplaatst, dus 10′. Daarom is de trommel in 10 gelijke deelen verdeeld, waarvan ieder één minuut van den verdeelden rand voorstelt. Iedere minuut is nog in 6 deelen, of van 10″ tot 10″ verdeeld, de enkele secunden worden door schatting bepaald.

Men dient echter bij het gebruik van het instrument te bedenken, dat een omgang van de mikrometer-schroef niet altijd juist met den afstand tusschen twee deelstrepen op den verdeelden rand overeenkomt; de uit deze afwijking ontstaande correctie moet dus bepaald en aan de aflezing der mikroskopen aangebracht worden. Ten einde in de waarnemingen zelve telkens de bouwstoffen te vinden om die correctie te bepalen, wordt aanbevolen, bij iedere aflezing op twee verschillende deelstrepen, de voorafgaande en de volgende in te stellen.

Uit de figuren zal verder de inrichting gemakkelijk kunnen worden nagegaan.

De eischen waaraan het universaal-instrument moet voldoen.

Bij het gebruik van ieder hoek-meetwerktuig waarbij een kijker wordt gebezigd, is het vóór alles noodig, dat men door den kijker zoowel de waar te nemen voorwerpen als de draden te gelijk kunne zien. De draden bevinden zich in het gemeenschappelijk brandpunt van objectief en oculair, en dienen om de richting van de gezichtslijn of optische as aan te geven. Wanneer het oculair en de draden juist geplaatst zijn ten opzichte van het brandpunt des objectiefs, dan zal men een zuiver beeld van een ver verwijderd voorwerp duidelijk op het dradennet kunnen verkrijgen.

Daarenboven moet nog het dradennet zoo geplaatst zijn, dat de zoogenaamde verticale draden loodrecht staan op de richting van de horizon-

tale omwentelings-as des kijkers, en dus evenwijdig zijn aan het vlak van den hoogte-cirkel.

De instrumentmakers zorgen, dat, wanneer het dradennet op het daartoe bestemde plaatje bevestigd en op zijne plaats is, het tevens loodrecht staat op de optische as. Om ook te verkrijgen dat het zich in het hoofdbrandpunt bevindt, brengt men eerst het dradennet in het brandpunt van het oculair, waartoe men het dradenplaatje in de richting der oculairbuis beweegt, of, als dit niet mogelijk is, trekt men de oculairlens wat uit, of schuift haar wat in, tot dat men de draden zeer duidelijk ziet. Daarop richt men den kijker op een ver verwijderd voorwerp, en, zonder het dradenplaatje of het ooglas te verplaatsen, beweegt men langzaam de geheele oculairbuis naar het objectief toe of daarvan af, tot dat het beeld van het voorwerp scherp, en tegelijk met de draden duidelijk wordt waargenomen. In dat geval is het dradennet in het brandpunt van het objectief, waar het wordt bevestigd. Het beste is voor het ver verwijderd voorwerp bij dit onderzoek te nemen, en dus den kijker te richten op een heldere ster. Indien men de draden goed scherp ziet en de ster zich als een duidelijk stralend punt voordoet, dan is men zeker dat de kijker ten opzichte van het focus goed is ingesteld.

Een ander middel om te onderzoeken of het dradennet juist is geplaatst in het vlak dat door de brandpunten gaat, bestaat hierin dat men een der draden op een zeer ver verwijderd aardsch voorwerp richt, dan zal het beeld van het voorwerp natuurlijk met den draad samenvallen; beweegt men nu het oog rechts en links, en naar boven en beneden, en verlaat door die beweging het beeld van het voorwerp den draad niet, dan is dit een bewijs dat het dradennet goed gesteld is. Bemerkt men daarentegen dat bij de beweging van het oog naar de rechterzijde, het voorwerp links van den verticalen draad komt, dan gaat het dradenvlak niet door het brandpunt van het objectief, maar is dit brandpunt dichter bij het oog van den waarnemer dan de draden. Wijkt bij een beweging van het oog naar de rechterzijde, het beeld van het voorwerp ook rechts van den draad af, dan is het brandpunt verder van het oog dan de draden. In beide gevallen kan men gemakkelijk de plaats van het dradennet verbeteren door een kleine beweging van de geheele oculairbuis.

Eindelijk moet nog het dradennet zoo gesteld zijn, dat de middelste vertikale draad, bij de beweging des kijkers om zijn omwentelingsas, voortdurend hetzelfde aardsche voorwerp, waarop men den kijker richt, blijft snijden; een afwijking hiervan kan men door schroefjes verbeteren.

De horizontale draden moeten met de vertikale hoeken van 90° maken, en den stand dezer draden kan men zoowel door het waarnemen van aardsche voorwerpen, als van hemellichten onderzoeken. De sterren veranderen nabij den meridiaan slechts zeer weinig van hoogte, en wanneer dus de kijker in den meridiaan is ingesteld, zal een ster in het gezichts-

veld bijna een horizontale rechte lijn beschrijven; brengt men nu een ster, als zij in het gezichtsveld treedt, midden tusschen de beide horizontale draden, dan moet zij dus, als die draden zuiver horizontaal, alzoo evenwijdig aan de horizontale omwentelingsas des kijkers zijn, zich ook bij het uittreden uit het gezichtsveld midden tusschen de horizontale draden vertoonen; is echter de ster bij het uittreden niet meer midden tusschen hen, dan maken die draden een hoek met het horizontale vlak, hetgeen door de genoemde schroefjes te verbeteren is.

Als nu een instrument tot het meten van horizontale en vertikale hoeken moet worden gebruikt, dan moet het, behalve aan de bovengenoemde omtrent het dradennet, aan de volgende voorwaarden voldoen.

1°. de vertikale as, die wij de eerste as zullen noemen, moet zoo na mogelijk zuiver loodrecht staan;

2°. de tweede, of zoogenaamde horizontale as des kijkers moet met de eerste as zeer nabij een rechten hoek (90_0) maken, dus op weinige secunden na zuiver horizontaal gericht zijn.

3°. de optische as of gezichtslijn moet zeer nabij loodrecht staan op de tweede as, en dus bij de beweging des kijkers om de horizontale as een vlak beschrijven dat loodrecht staat op den horizon. De gezichtslijn is de lijn die van het middelpunt des objectiefs naar het midden van het kleine vierkant loopt, dat tusschen de beide middelste vertikale en horizontale dradenparen gevormd wordt.

Bij gewone kijkers verstaat men onder de optische as de lijn die de middelpunten van objectief en oculair vereenigt; deze zal hier niet altijd met de gezichtslijn samenvallen. Bij de gebroken kijkers bereikt de genoemde lijn het midden der draden eerst na de terugkaatsing door het in den kijker geplaatste prisma.

De instrumentmaker zorgt dat:

4°. de tappen der tweede as zoo na mogelijk cilindrisch zijn met een cirkelvormige doorsnede en zoo na mogelijk gelijke dikte hebben;

5°. dat de vertikale en horizontale draden onderling evenwijdig zijn en loodrecht op elkander staan.

De gebruiker zorgt dat aan de andere voorwaarden voldaan worde.

Daar het onmogelijk is om de tappen volkomen cilindervormig en gelijk van dikte te maken, moet afwijking hiervan onderzocht en in rekening gebracht worden.

Om de draden in het net volmaakt evenwijdig en loodrecht op elkander te stellen, worden op de instrumenten die door REPSOLD worden geleverd, groefjes voor die draden op de plaat gegraveerd.

Hij die het instrument zal gebruiken zorgt dus dat aan de voorwaarden onder 1°, 2° en 3° genoemd, voldaan worde:

1°. door de correctie van het instrument, waardoor hij alle deelen onderling den juisten stand geeft;

2°. door de opstelling, waardoor hij het instrument in zijn geheel den juisten stand geeft.

Deze beide operatien moeten wel onderscheiden worden.

Correctie van het Instrument.

Wij nemen hierbij aan dat de tappen der tweede as en het dradennet aan de gestelde eischen voldoen, en behandelen dus eerst:

Het verbeteren van den onderlingen stand van de eerste en de tweede as. Men stelt de tweede as evenwijdig aan de verbindingslijn van twee der schroeven A en B aan den voet, nivelleert met het losse niveau en maakt met de beide schroeven A en B die as horizontaal. In het algemeen is dan de eerste as nog niet vertikaal.

Brengt men nu door de tweede as een vertikaal vlak, en projecteert men daarop de eerste as, dan heeft men, zoo de tweede as horizontaal is gemaakt, den stand als in fig. 6 Plaat IX^b, makende de eerste as met den vertikaal een hoek $= \delta$. Nu draait men het bovendeel om de eerste as 180° om, dan verkrijgt men, als wederom de eerste as geprojecteerd wordt op het vertikale vlak door de tweede as gebracht, den stand als in fig. 7. Het vertikale vlak in dezen stand door de tweede as gebracht, stemt niet volkomen overeen met datgene, dat in den eersten stand door de tweede as gebracht was; de hoek tusschen $I\,I'$ en de vertikaal is dus niet volkomen $= \delta$, en evenmin is de hoek tusschen $II\,II'$ en het horizontale volkomen $= 2\delta$, de afwijking van δ en 2δ is echter een kleine grootheid van de 3de orde, die verwaarloosd mag worden. De helling der tweede as, door het niveau bepaald, is nu 2δ. Door de voetschroeven A en B wordt nu de helling op de helft teruggebracht en men verkrijgt den stand als in figuur 8. Door de schroeven onder de pannen der tweede as wordt nu, zonder verder iets aan de voetschroeven te veranderen, de tweede as horizontaal gemaakt. De stand is dan die van figuur 9.

Hierdoor heeft men verkregen, dat de eerste as ligt in een vlak, loodrecht op de tweede as gebracht, en dat dus de eerste as loodrecht staat op de tweede. De assen hebben dus onderling een juisten stand. In den regel verlangt men echter bovendien de eerste as vertikaal te stellen. Hiertoe draait men het bovendeel 90°, zoodat de tweede as evenwijdig is aan de lijn, uit de derde schroef C loodrecht op de verbindingslijn van A en B getrokken. Projecteert men weder de eerste as op het vertikale vlak, door de tweede as gebracht, dan heeft men den stand als in figuur 10. Het nieuwe projectie-vlak staat nu loodrecht op het projectie-vlak van figuur 9, (weder niet volkomen, doch de afwijking bedraagt slechts een grootheid van de derde orde, die verwaarloosd mag worden).

De eerste as en de tweede zijn dus beide evenwijdig aan dit nieuwe projectie-vlak, en de hoek tusschen de eerste en de tweede as wordt dus in zijne ware grootte = 90° geprojecteerd. Men make nu alleen door de schroef *C* de tweede as horizontaal, dan zal ook de eerste as zelve vertikaal zijn, als in figuur 11. Ten einde nog overgebleven fouten te verbeteren, herhale men de beschreven operatiën.

De optische as moet loodrecht zijn op de tweede as.

Om dien stand te verbeteren, kan men verschillende methoden volgen:

1°. Men richt het instrument op een ver verwijderd voorwerp, licht daarna, terwijl het instrument behoorlijk is vastgeklemd, zoodat het niet om de eerste as kan draaien, de tweede as uit hare pannen, en legt haar weder daarin, na haar 180° te hebben omgedraaid, zoodat de tap, die vroeger in de eene pan rustte, nu in de andere komt en omgekeerd. Indien de optische as loodrecht staat op de tweede as, zal nu de kijker weder, zonder beweging om de eerste as, op hetzelfde voorwerp gericht kunnen worden. Is zulks niet mogelijk, dan corrigeert men de afwijking voor de helft, door verplaatsing van het dradennet.

Hierbij is verondersteld dat de kijker zich in het midden der tweede as bevindt; is hij aan een der uiteinden bevestigd, b. v. op een afstand a uit het midden, dan zal hij, na omlegging, niet op hetzelfde punt van het verwijderde voorwerp gericht moeten zijn, maar op een ander punt $2a$ rechts of links van het eerste gelegen.

2°. Men richte den kijker met den middeldraad op een verwijderd voorwerp, en leest den horizontalen cirkel af, draait het bovendeel om de eerste as juist 180°, en slaat den kijker door; hij moet dan weder op hetzelfde voorwerp gericht zijn. Is dit niet het geval, dan richt men den kijker wederom met den middeldraad op hetzelfde voorwerp, en leze den horizontalen cirkel af; het verschil met de vorige aflezing wordt voor de helft gecorrigeerd door verplaatsing des kijkers, en voor de helft door verplaatsing der draden.

Hierbij is weder aangenomen, dat de kijker in het midden der tweede as was geplaatst; bij een afstand a uit het midden en een afstand l van het verwijderd voorwerp tot het instrument, moet men het bovendeel niet 180° maar 180° $+ x$ draaien, als $\sin \frac{1}{2} x = \frac{a}{l}$, of, bij benadering $x = \frac{2a}{l}$ is. Het zal dan echter gemakkelijker zijn op eenigen afstand op een muur twee even hooge punten aan te geven, die een onderlingen afstand $= 2a$ hebben, en waarvan men bij kijker rechts het rechtsche, bij kijker links het linksche instelt.

Is de kijker in het midden der tweede as geplaatst, dan kan men in plaats van een verwijderd voorwerp, het snijpunt van de kruisdraden in het focus van een anderen kijker gebruiken.

3°. Men richte een hulpkijker, in wiens brandpunt zich een stel kruisdraden bevinden, op een verwijderd voorwerp, plaatse daarna het instrument tusschen dien kijker en het voorwerp, en richt den kijker van het instrument juist op den hulpkijker; indien men dan den kijker om de tweede as 180° draait, zal hij op het verwijderde voorwerp gericht moeten zijn. De afwijking wordt weder voor de helft door het dradennet gecorrigeerd. Hierbij is het onverschillig, of de kijker in het midden der tweede as of aan een der uiteinden is bevestigd. In plaats van een ver verwijderd voorwerp, kan men een tweeden hulpkijker, met dradennet in het focus, gebruiken.

Over de opstelling van het instrument.

Niet voor alle waarnemingen met het universaal-instrument is een even vaste opstelling noodzakelijk. Blijft men langen tijd op dezelfde plaats, en wil men het instrument als passage-instrument, of voor het meten van nauwkeurige horizontale hoeken (waaronder ook azimuthen behooren) gebruiken, dan is een gemetselden, goed gefundeerden pilaar verkieselijk, die men van een geïsoleerden vloer omgeeft, d. i. een vloer, die op eenigen afstand van den pilaar zijne steunpunten heeft. Blijft men slechts kort op elke plaats, zooals bij reizen voor het doen van vele sterrekundige plaatsbepalingen het geval is, dan kan een stevig ijzeren of houten voetstuk ook zeer goede diensten doen, mits het evenzoo omringd worde van een geïsoleerden vloer, en men de waarnemingen zoo inricht, dat men niet van de onderstelling behoeft uit te gaan, dat de opstelling van het instrument onwrikbaar is.

Figuur 12 stelt zulk een voetstuk voor, zooals de heer Dr. J. A. C. OUDEMANS bij zijne talrijke sterrekundige plaatsbepalingen in Oost-Indië altijd gebruikte; *ab*, *cd*, *ef*, zijn drie balken van 5 op 7 cM., van boven uitstekende boven een ronde stevige plank *gh*, van onderen met ijzer beslagen en uitloopende in ijzeren punten. Door ingeslagen spieën, in *i* en *k* zichtbaar, worden de boven de plank uitstekende toppen der balken er vast mede vereenigd, en verder zijn bij *l* en *m* de drie balken met ijzeren banden stevig verbonden, op de wijze als in figuur 13 zichtbaar is.

Een vloer, bestaande uit drie trapezium-vormige planken, rustende op drie klossen aan de hoekpunten, zie figuur 14, omgeeft het voetstuk. Dit laatste wordt zoo hoog genomen, dat de waarnemer, op den vloer staande, bij zijne waarnemingen, zonder te bukken of zich uit te rekken, met het oog bij het oculair kan komen. Die hoogte hangt dus af van de grootte van het instrument.

Bij lang verblijf op dezelfde plaats, zooals b. v. in het geval der officieren van de Fransche Marine, die uitgezonden werden om van eenige hoofdpunten de Lengte te bepalen door waarnemingen van de maan en

maan-sterren in den meridiaan (zie b. v. de bepaling der Lengte van St. Dénis op het eiland Réunion in de Connaissance des Temps, 1871), late men om den pilaar een houten huisje of zeildoeken tent maken, die het instrument voor weêr en wind en zonneschijn beschut. In die gevallen neemt men liefst zijne tijdsbepalingen door waarnemingen van doorgangen van sterren in den meridiaan, en de Breedte-bepalingen door circum-meridiaanshoogten van sterren, en behoeft dus alleen een opening in het dak en de zijwanden in de richting van den meridiaan.

Moet men er een azimuth van een ver afgelegen punt bij bepalen, dan make men in de richting naar dat punt een opening, met deurtje in den zijwand.

Voor een reizenden waarnemer is dit echter te lastig, en ook niet noodig. Hij zoeke, aangekomen op de plaats waar hij moet waarnemen, een observatieplaats uit, waar hij, hoewel in de open lucht staande, zoo goed mogelijk voor den wind beschut is, stelle het instrument eerst op als hij gaat waarnemen, en berge het weder in zijn kist, als de waarnemingen zijn afgeloopen. Daardoor vervalt de noodzakelijkheid van een gebouw of een tent. Voor het opteekenen van den tijd zal zulk een waarnemer toch bij voorkeur een tijdmeter gebruiken, terwijl men op een vaster observatorium een sterrekundige pendule kan opstellen. Niets verhindert des verkiezende ook voetstuk en vloer na de waarnemingen binnen 's huis te brengen, ofschoon zij zonder nadeel wel buiten kunnen blijven staan.

Het gebruik van een zoogenaamd meridiaanteeken is overbodig, hoewel het wel in sommige gevallen eenig gemak kan aanbrengen. Niet altijd bestaat echter een goede gelegenheid er een op te stellen.

Wil men doorgangen in den meridiaan waarnemen, zoo late men, bij langdurig verblijf op ééne plaats, het instrument steeds op den pilaar of het voetstuk onder zijn bedekking staan, en de kleine afwijkingen van den meridiaan worden telkens uit de waarnemingen van hooge en lage sterren, of nog beter sterren ten Noorden en ten Zuiden van het zenith afgeleid (1).

Zeer gemakkelijk is ook de volgende methode, die ook dienen kan als men het instrument telkens na de waarnemingen van pilaar of voetstuk afneemt. Men bepaalt eens vooral het azimuth van een ver verwijderd aardsch voorwerp, en stelle vóór het begin der waarnemingen daarop in, leze den horizontalen cirkel af en draaie het bovendeel zooveel om als het azimuth van dat voorwerp bedraagt; dan beschrijft de kijker zeer nabij het vlak van den meridiaan.

---

(1) Voor plaatsen op hooge breedte, bevat de Nautical Almanac wel wat weinig Noordelijke sterren; de Connaissance des Temps is daaromtrent veel beter ingericht, en geeft de schijnbare plaatsen van 310 sterren aan. Nog doelmatiger is het gebruik van de »Mittlere und scheinbare Oerter für das Jahr 18.. von 539 Sternen, u. s. w.« die jaarlijks onder de medewerking van de Astronomische Gesellschaft door de redactie van het Berliner Astronomische Jahrbuch uitgegeven wordt.

Voor het meridiaanteeken waarvan boven sprake was, bestaan verschillende inrichtingen. Een metalen plaat, waarin een gaatje, en die in een stevig gefundeerden pilaar is ingemetseld, moet zoodanig geplaatst zijn, dat de meridiaanvlakte gaande door de vertikale as van het instrument, juist door dat gaatje gaat. Aan de voorzijde wordt die metalen plaat beschilderd met een donkere verf, waarop een witte vertikale streep zichtbaar is, in welks midden zich het gaatje bevindt; aan de achterzijde moet in den pilaar ruimte overgelaten zijn om een lamp te plaatsen, waarvan het licht door het gaatje schijnt. Op die wijze is het meridiaanteeken, zoowel bij dag als bij nacht zichtbaar.

Op een vast observatorium is zulk een miridiaanteeken van meer beteekenis dan op een tijdelijk, om redenen waarvan de uiteenzetting ons hier te ver zou voeren.

Gebruik van het Universaal-instrument.

Het Universaal-instrument waarvan wij ter verduidelijking de vijf teekeningen op plaat IX" voorkomende gaven, zijnde figuur 4 en 5 het instrument van Lingke, figuur 1, 2 en 3, twee standen en een doorsnede van een instrument van REPSOLD, vereenigt dus in zich de constructie van: *a.* het passage-instrument, *b.* den verticaal-cirkel, *c.* den theodoliet. Kortelijk zullen wij het gebruik van het instrument tot die drie doeleinden behandelen.

a. Als Passage-instrument.

Nu is de horizontale cirkel gedurende elk stel waarnemingen geklemd; op refractie behoeft niet te worden gelet, en de cirkels behoeven niet te worden afgelezen.

1°. Voor tijdsbepaling.

Ter voorbereiding maakt men een lijstje van de tijden der doorgangen dier sterren die men wil waarnemen. Men stelt het instrument op met de horizontale as Oost-West, en den kijker in den meridiaan, en neemt de tijden van doorgang door de vertikale spinragdraden in het brandpunt waar; de collimatiefout wordt of bij de herleiding der waarnemingen in rekening gebracht, of nog beter door waarnemingen vóór en na omlegging der horizontale as geelimineerd. De helling der horizontale as wordt telkens door het niveau bepaald. Het azimuth, (d. i. de afwijking van de meridiaanvlakte) wordt gevonden door sterren die veel in hoogte verschillen, nog beter door sterren ten Zuiden en ten Noorden van het zenith waar te nemen.

De herleiding van de zijdraden op den middeldraad geschiedt door de formule: $\frac{1}{15}$ draden afstand $\times$ sec d (zie bladz. 272).

2°. Voor breedtebepaling.

Dit is niet raadzaam op lage breedten, wel voor breedten grooter dan 30°. Opstelling met de horizontale as Noord en Zuid, en dus den kijker in den eersten vertikaal. Men neemt de tijden van doorgang waar van sterren dicht bij het zenith, en bereidt zich daarop voor door een lijstje gereed te hebben van de tijden van doorgang en de zenithsafstanden bij die doorgangen. Collimatiefout en helling worden gevonden en in rekening gebracht als boven gezegd is; voor het azimuth neemt men sterren ten Oosten en ten Westen van het zenith waar. Neemt men van dezelfde ster den Oost- en Westdoorgang waar, dan is men onafhankelijk van de rechte-opklimming der ster en den stand van het uurwerk. Herleiding van de zijdraden op den middeldraad heeft hier door een meer samengestelde formule plaats.

3°. Voor Azimuth-bepaling van een aardsch voorwerp.

De kijker wordt op het aardsche voorwerp gericht, en de waarnemingen der doorgangen gedaan in de verticaal van dat voorwerp in twee standen van het instrument. Het geeft tot omslachtige voorbereidings- en herleidingsberekeningen aanleiding, dus is niet aan te bevelen.

4°. Voor lengtebepaling.

Men neemt behalve een of meer sterren dicht bij de pool, den doorgang waar van den maansrand en der maansterren, zooals die in den Nautical Almanac zijn opgegeven. Uit de verschillen in rechte-opklimming van dien rand en die sterren, vergeleken met dezelfde verschillen, waargenomen op een sterrewacht waarvan de lengte bekend is, kan de lengte der waarnemingsplaats afgeleid worden. Deze methode had vroeger hare waarde, maar heeft daarvan veel verloren. Bij de versnelde communicatiemiddelen van den tegenwoordigen tijd toch, zal men meestal door tijdmeters een meer nauwkeurige lengte kunnen verkrijgen, dan door culminatie van maan en maansterren. Een fout in de waarneming van den maansrand gaat ongeveer 30 maal vergroot op het resultaat over, en daar ieder waarnemer voor elke categorie van waarnemingen zijn eigene persoonlijke fout heeft, kan het resultaat, zelfs van een aantal maans-culminatiën, toch eenige tijdsecunden foutief zijn. Voor geisoleerde punten wordt deze methode aanbevolen, maar, daar bij sterbedekkingen de fout der waarnemingen niet vergroot op het resultaat overgaat, geven een klein aantal sterbedekkingen een hoogere nauwkeurigheid dan een groot aantal maans-culminatiën.

b. Als vertikaal-cirkel.

Nu meet men zenith-afstanden, dus moet den vertikalen cirkel aflezen en de refractie in rekening brengen.

1°. Voor tijdsbepaling.

De kijker wordt gericht op een ster dicht bij het Oosten of Westen, de tijden van doorgang door de horizontale draden worden waargenomen, waarbij de ster altijd tusschen de vertikale middeldraden gehouden wordt het vaste niveau wordt afgelezen, en de vertikale cirkel door beide noniën of mikroskopen.

Daarna wordt de kijker door het zenith heen op omtrent denzelfden zenith-afstand gebracht, en opnieuw op dezelfde ster gericht, en de waarneming herhaald. Uit beide waarnemingen vereenigd, kan een tijdsbepaling afgeleid worden, vrij van de index-fout van den vertikalen cirkel.

Het eenvoudigste is geen reductie op den middeldraad te berekenen, zooals bij het gebruik *a*, maar dezelfde draden in beide standen te gebruiken, en het arithmetisch midden tusschen de tijden van doorgang te nemen. Voor reizende sterrekundigen is dit zeer aanbevelenswaardig, daar geen voorbereiding noodig is.

2°. Voor breedtebepaling.

Men neemt zenith-afstanden van sterren dicht bij den meridiaan, in twee standen, telkens afwisselende, als boven gezegd is. Liefst begint men eenige minuten vóór den doorgang door den meridiaan, en eindigt men even vele minuten na den doorgang. Men neemt slechts den doorgang door den horizontalen middeldraad, als er één is, en hoogstens de doorgangen door de horizontale middeldraden als er twee zijn. Aflezing als voren. De herleiding der circum-meridiaans zenith-afstanden tot die in den meridiaan, geschiedt door benaderingsformules, waarvoor de breedte bij benadering bekend verondersteld wordt. Uit zenith-afstanden, genomen ver van den meridiaan, d. i. bij een uurhoek grooter dan 40^m, of van sterren die dicht bij het zenith staan, moet de breedte door den parallactischen driehoek worden berekend.

c. Als Theodoliet.

Hierbij wordt alleen de horizontale cirkel afgelezen.

1°. Voor het meten van horizontale hoeken tusschen aardsche voorwerpen, dus bij een triangulatie. Een bijzonder stevige opstelling is noodzakelijk, liefst op een steenen pilaar, tenzij een verzeke-

ringskijker aanwezig zij. Het instrument wordt wel met behulp van één der niveaus gesteld, maar verder worden geen niveaus afgelezen, tenzij er voorwerpen geviseerd worden die belangrijk in hoogte verschillen, en het wordt tamelijk hoog boven den horizon geplaatst.

Moeten er hoeken gemeten worden tusschen eenige voorwerpen A, B, C, D, dan richt men liefst ten slotte nog eens op A, nog beter is in elken stand te nemen A, B, C, D, A, B, C, D, A. Bij excentrischen kijker is meting in twee standen noodig, kijker rechts en kijker links. Systematische verdeelingsfouten van den horizontalen cirkel kunnen onschadelijk worden gemaakt, door langs verschillende deelen van den rand de hoeken te meten, d. i. te zorgen, dat bij het eerste voorwerp de aflezing achtereenvolgens o°. a°, $2a^\circ$ enz. is.

2°. Azimuth-bepaling van een aardsch voorwerp. De horizontale hoek of het verschil in azimuth van een ster en een aardsch voorwerp wordt in twee standen gemeten. Op Noordelijke breedte neme men daarvoor de poolster, dicht bij den equator een ster in het Oosten of Westen. In elken stand stelle men in: voorwerp-ster, ster-voorwerp, en teekene bij het instellen der ster den tijd op, zoodat de stand van het uurwerk bekend moet zijn. Telkens wordt de horizontale cirkel afgelezen.

Ligt het voorwerp nagenoeg in den horizon, dan behoeft niet genivelleerd te worden, als de kijker daarop gericht is.

Bij de waarneming op de ster moet altijd genivelleerd worden. De collimatiefout wordt geëlimineerd door de waarneming in twee standen.

Het azimuth der ster wordt uit den uurhoek, de declinatie en de poolshoogte berekend.

Bij gebrek aan een uurhoek kan men een vrij goede, hoewel minder nauwkeurige azimuth-bepaling verkrijgen door het azimuth der ster of van den zonnerand uit den zenith-afstand, de declinatie en de poolshoogte te berekenen. De waarneming is echter moeilijker, en men moet dan telkens ook het vaste niveau en den vertikaal-cirkel aflezen, en de indexfout van dien cirkel in rekening brengen.

3°. Voor tijdsbepaling en breedtebepaling door horizontale metingen, hoewel mogelijk, niet aan te bevelen wegens verregaande omslachtigheid.

Voor het gebruik b_1, b_2 en c_2 kan de zon gebruikt worden, mits de kijker voorzien zij van een gekleurd glas, en het instrument steeds door een zonnescherm beschut wordt, behalve op de oogenblikken dat de zonneranden waargenomen worden, maar de zon geeft minder nauwkeurige resultaten dan sterren.

VIERDE HOOFDSTUK. (1)

OVER DE KIJKERS.

In alle handboeken over Natuurkunde wordt de theorie der lensen uitvoerig behandeld, en ook een hoofdstuk aan de kijkers gewijd. Wij zullen die theorie als bekend veronderstellen en datgene omtrent de kijkers mededeelen, wat voor een zeeofficier wetenswaardig kan geacht worden.

De aan boord gebruikelijke kijkers.

Onder de scheeps-instrumenten komt de kijker voor als:
1°. de binocle,
2°. de lange kijker, (ook wel genaamd dag- en nachtkijker),
3°. de kijkers op het sextant en den prisma-cirkel.

De binocle. Zijn objectief.

De twee kijkers, die een binocle samenstellen, zijn zoogenaamde Hollandsche of Galileïsche kijkers. Deze soort van kijkers werd door den Middelburgschen brillenslijper JAN LIPPERSHEY in 1608 uitgevonden, die, aan de Staten-Generaal een octrooi op zijne uitvinding gevraagd hebbende, het verzoek ontving, dd°. 2 October, „zijne inventie te verbeteren, zulks, dat men daardoor met twee oogen zoude kunnen zien." Op het gerucht der uitvinding van den Hollandschen kijker stelde GALILEI in 1609 een dergelijken kijker samen en deed er zeer belangrijke ontdekkingen mede op sterrekundig gebied; vandaar de naam: Galileïsche kijker. Het objectief van zulk een kijker is, even als alle objectieven, een vergrootende lens, het oculair daarentegen een verkleinende lens. Neemt men het objectief uit zijne vatting, dan ziet men somtijds, dat het uit twee lenzen, een vergrootende en een verkleinende lens, bestaat, fig. 1. Pl. IX[c].

(1) Wij danken deze beschouwingen aan de welwillende mededeeling van Dr. J. A. C. OUDEMANS

Gewoonlijk zijn deze lenzen aan elkander gehecht, hetgeen geschiedt met canada-balsem. Dit is alleen mogelijk, als de tweede, bolle oppervlakte der eerste lens, dezelfde kromming heeft, als de eerste, holle oppervlakte der tweede lens; het aan elkander hechten door balsem geschiedt dan om het lichtverlies door terugkaatsing op de glas-oppervlakte te verminderen, en dus den kijker meer lichtkracht te geven.

Van de twee lenzen, die het objectief samenstellen, is de voorste (d. i. de vergrootende), van crownglas, de achterste (of verkleinende) van flintglas. Het crownglas komt in bestanddeelen nagenoeg overeen met spiegelglas, en kan dus als een mengsel van kiezelzure kalk en kiezelzure potasch of soda beschouwd worden. Het flintglas bevat bovendien kiezelzuur loodoxyde, en heeft daardoor een sterker brekend en een sterker licht-verspreidend vermogen, dan het crownglas. Het lichtverspreidend vermogen is echter door de toevoeging van loodoxyde in veel hoogere mate vermeerderd dan het brekend vermogen. Wanneer dus een vergrootende crownglas-lens verbonden wordt met een verkleinende flintglas-lens, die het kleuren-verspreidend vermogen der crownglas-lens opheft, dan is daarom nog niet het brekend vermogen der crownglas-lens opgeheven, en het samenstel der twee lenzen blijft een vergrootende lens, hoewel zwakker dan de crownglas-lens alleen was, d. i. met grooteren brandpunts-afstand. Een dergelijke lens is dus achromatisch, (hetgeen kleurloos beteekent) dat is, de beelden, die zij van verafgelegene voorwerpen geeft, vertoonen geen gekleurde randen.

Het oculair bestaat ook dikwijls uit twee aaneengehechte lenzen, hoewel dit minder noodzakelijk is. Er worden ook binocles vervaardigd, van welke zoowel objectief als oculair uit drie glazen bestaan, zie fig. 2; het objectief bestaat dan uit twee dubbel-bolle crownglas-lenzen, waartusschen zich een dubbel-holle flintglas-lens bevindt; het oculair daarentegen uit twee dubbel-holle crownglas-lenzen, waartusschen zich een dubbel-bolle flintglas-lens bevindt.

Behalve dat de kleurschifting door deze inrichting aan de randen van het veld beter kan opgeheven worden, geeft het gebruik van drievoudige lenzen het voordeel, dat het flintglas, dat het lichtste verweert, niet aan de lucht blootgesteld is. In deze drievoudige objectieven en oculairen worden dan de samenstellende lenzen altijd aan elkander gehecht.

Bestaat het objectief uit slechts twee glazen, dan wordt de flintglas-lens ook wel plat-hol genomen, zoodat men, het objectief uit den kijker nemende, bevindt, dat het aan de binnenzijde plat is.

Dit wordt niet zonder reden gedaan, daar het onderzoek leert, dat voor een hollandschen kijker een plat-bol objectief, met de platte zijde naar binnen gekeerd, zoo niet de gunstigste vorm, dan toch een zeer gunstige vorm is, om scherpe beelden aan den rand van het veld te geven.

Vergrooting van een binocle.

Is de brandpunts-afstand der objectief-lens $= F$, die der oculair-lens $= -f$, negatief genomen, omdat het een verkleinende lens is, dan is de vergrooting voor verziende oogen $= \frac{F}{f}$. De afstand van objectief en oculair, (of liever van de naar elkander toegekeerde hoofdpunten van objectief en oculair,) is dan $= F - f$.

Voor bijziende oogen moet de afstand van objectief en oculair verminderd worden, en is de vergrooting kleiner. Is de afstand van duidelijk zien voor zulk een oog $= D$, dan is de vergrooting $= \frac{F}{f} - \frac{F}{D}$.

Deze formule geldt niet alleen, als F de voorname brandpunts-afstand beteekent, maar ook als men er den brandpunts-afstand mede bedoelt voor stralen, die van een niet zeer ver verwijderd voorwerp komen. Zij geldt in de vooronderstelling, dat het oog vlak voor het oculair gehouden wordt.

Zij, om dit te bewijzen, in fig. 3, Pl. IX[c] ED het voorwerp, dat men beziet. Het objectief A geeft daarvan een beeld CF, dat echter, door de aanwezigheid daartusschen van het oculair B niet tot werkelijkheid komt. Door dat oculair worden de naar C convergeerende lichtstralen zoodanig gebroken, dat zij, het oculair verlatende, uit G schijnen te divergeeren, zijnde dus GB de afstand van duidelijk zien. Nu is hoek EAD de hoek, waaronder het voorwerp uit het midden van het objectief gezien wordt; maar de lengte van den kijker is zoo gering met betrekking tot den afstand van het voorwerp, dat men dezen hoek ook kan beschouwen als die, waaronder het voorwerp uit het oog van den waarnemer beschouwd wordt.

Hoek HBG is verder de hoek, waaronder het voorwerp door den kijker gezien wordt. Voorts is, de vergrooting V noemende,

$$V = \frac{\text{tang } HBG}{\text{tang } EAD};$$

maar

$$\angle HBG = \angle FBC$$
$$\text{en } \angle EAD = \angle FAC$$

dus is:

$$V = \frac{\text{tang } FBC}{\text{tang } FAC} = \frac{\frac{CF}{BC}}{\frac{CF}{AC}} = \frac{AC}{BC}$$

Stel nu AC, d. i. de vereenigingswijdte der stralen, komende van het voorwerp $DE = F$, den brandpunts-afstand van het oculair $B = -f$,

den afstand BG van duidelijk zien D, dan is volgens de grondformule der dioptrica:

$$\frac{1}{-BC}+\frac{1}{-BG}=\frac{1}{-f}$$

derhalve

$$\frac{1}{BC}+\frac{1}{D}=\frac{1}{f}$$

dus

$$BC=\frac{Df}{D-f}$$

en

$$V=\frac{AC}{BC}=F\times\frac{1}{BC}=F\times\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{D}\right)=\frac{F}{f}-\frac{F}{D}=\frac{F(D-f)}{Df}.$$

In de meeste binocles is de vergrooting voor verziende oogen, dus de verhouding $\frac{F}{f}$, tusschen de 2 en 5 maal. Stel nu,

$$F=165 \text{ mM. en } f=55 \text{ mM.}$$

dan is voor verziende of liever normale oogen, de vergrooting 3 maal; voor een bijziende, die bijv. op 330 mM. zijnen afstand van duidelijk zien heeft, is de vergrooting slechts:

$$3-\frac{165}{330}=3-\tfrac{1}{2}=2\tfrac{1}{2} \text{ maal.}$$

Een verziende kan de vergrooting praktisch bepalen, door met het eene oog in, met het andere oog buiten den kijker naar een verdeeling te zien; men kan dan licht beoordeelen, hoeveel deelen buiten den kijker overeenkomen met één deel in den kijker. Om geen hinder te hebben, dat de beelden bij het bewegen der oogen over elkander schuiven, neme men een verdeeling met horizontale verdeelstrepen; lagen metselsteenen, dakpannen enz. geven van zelve een geschikte gelegenheid voor het vinden der vergrooting van een binocle.

Uit het gezegde blijkt nog, dat voor hetzelfde oog, de vergrooting met de accommodatie van dat oog verandert.

Lichtkracht van een binocle.

Beschouwt men door een binocle een lichtend punt, bijv. een vaste ster, of een veraf zijnde lantaarn, dan ziet men duidelijk, dat de helderheid van die ster of lantaarn grooter geworden is. Dit komt, omdat al het licht der ster of lantaarn, dat op het objectief LM valt, na door het objectief en het oculair gegaan te zijn, vereenigd is (voor een verziend oog) in een cilinder, die IK tot middellijn heeft; de oppervlakten van

twee cirkels staan tot elkander als de tweede machten der middellijnen; had er dus bij den doorgang van licht door een lens geen lichtverlies plaats, dan zou de helderheid der ster of lantaarn door den binocle vergroot worden in reden van IK^2 tot LM^2.

Is IK grooter dan de middellijn der pupil, dan vangt het oog niet al het licht op, dat op het objectief valt, maar slechts zooveel, als op een cirkel valt, waarvan de middellijn gelijk is aan die der pupil $(p) \times \frac{AC}{BC}$, d. i. $= p \times \frac{F(D-f)}{Df}$. Is dus het licht eener ster $= l$, dan zou, behoudens het lichtverlies, veroorzaakt door den doorgang door den kijker, het licht der ster in den kijker zijn:

$$l \times \frac{F^2(D-f)^2}{f^2 D^2} = lV^2.$$

Maar, indien nu, van een hoeveelheid licht $= 1$ bij den nagenoeg loodrechten doorgang door glas, slechts het gedeelte m doorgelaten wordt, zijnde m omtrent $= 0{,}9$, dan komt van de ster slechts in het oog

$$l \times m^2 \times \frac{F^2(D-f)^2}{f^2 D^2} = l \,.\, m^2 \,.\, V^2;$$

m komt hier in de tweede macht voor, omdat het licht door twee glazen gaat, het objectief en het oculair. Het lichtverlies bij den overgang van de crownglas-lens in de flintglas-lens van het objectief is, wanneer die beide glazen met canada-balsem aan elkander gehecht zijn, uiterst gering en dus te verwaarloozen.

Voor een verziende is $D = \infty$, dus $\frac{D-f}{D} = 1$ en wordt deze uitdrukking:

$$m^2 \times \frac{F^2}{f^2} \times l.$$

Is dus $\frac{F}{f} = 3$, en neemt men $m = 0{,}9$ aan, dan ziet men, dat de helderheid eener ster door den binocle vergroot wordt, in reden van

$$1 : 0{,}81 \times 9 = 1 : 7{,}29.$$

Voor een bijziende is de vermeerdering der helderheid geringer, bijv. is $D = 0{,}330$ en $f = 0{,}055$ meter, dan is:

$$mV^2l = 0{,}81 \times 6\tfrac{1}{4}\, l = 5{,}06\, l$$

Het voordeel van den binocle boven andere kijkers is gelegen in het gering getal lenzen, waaruit hij bestaat; waardoor de factor m geen grooteren exponent heeft dan 2.

Geheel anders wordt de zaak, wanneer men niet een lichtend punt, maar een lichtende oppervlakte, van kleinen omvang, door den binocle

beschouwt. Omtrent de geheele hoeveelheid licht, die van zulk een lichtende oppervlakte het oog bereikt, geldt hetzelfde als hetgeen van een ster gezegd is, maar die hoeveelheid licht wordt nu door de vergrooting V der kijkers over een oppervlakte verdeeld, die V^2 maal grooter is. Is dus i de intensiteit der verlichting eener vlakte, dan wordt die in den binocle $= im^2$, en zij is dus onafhankelijk van de vergrooting en altijd kleiner dan de eigene intensiteit van de verlichting der oppervlakte zelf.

Een zeil van een ver afgelegen schip kan dus des nachts zich in den binocle onmogelijk witter vertoonen dan met het bloote oog; maar de hoeveelheid licht, die er van in 't oog valt, dat met een binocle gewapend is, is bij een driemalige vergrooting, voor een verziend oog, 7,3 maal grooter, dan voor het bloote oog; daarom zal men het, als het zeer ver af is, gemakkelijker met den binocle gewaar worden.

Daarentegen zal het bij donkere nachten dikwijls gemakkelijker zijn een niet al te veraf liggend schip zonder, dan met een binocle te zien. Het komt dan voornamelijk op de intensiteit van de verlichting der zeilen aan, en die vermindert altijd bij den doorgang der lichtstralen door de glazen van een kijker.

De rechtziende kijker, die bij vele sextanten gevoegd is, is ook een hollandsche of galileïsche kijker.

De objectieven der andere kijkers. Gebreken der objectieven.

Het objectief van den langen kijker is wel, even als dat van een binocle, uit twee glazen samengesteld, maar heeft in verhouding tot de opening een grooteren brandpunts-afstand. Soms zijn de beide glazen, waaruit het bestaat, met canada-balsem aan elkander geplakt, meestal echter niet.

Bij sommige kijkers is het objectief besloten tusschen twee ringen, waarvan de eene in den anderen schroeft; dan kan men het uit elkander nemen en de glazen reinigen; bij vele scheepskijkers is het objectief echter in zijne vatting opgesloten en kan er dus niet uitgenomen worden. Dan moet vooral gezorgd worden, dat er op het objectief geen vocht valle, dat in de vatting en van daar, door de capillariteit, tusschen de glazen kan komen, want hierdoor kan licht verweering der glazen ontstaan.

Kan het objectief uitgenomen worden, dan zorge men, dat, bij het weder in elkander zetten, de lenzen hare juiste plaatsing verkrijgen. Hieromtrent kunnen wij het volgende mededeelen.

De kijkers der 17e en van de eerste helft der 18e eeuw hadden enkelvoudige objectieven, d. i. die objectieven bestonden uit een enkele vergrootende lens. Een dergelijke lens heeft twee gebreken, de zoogenaamde

afwijking wegens bolvormigheid, en de afwijking wegens kleurschifting.

Afwijking wegens bolvormigheid.

Zij *AB*, fig. 4, de doorsnede eener lens, door een vlak, dat door hare as *LF* gaat; als dan een bundel stralen van één kleur evenwijdig aan de as op die lens valt, dan zullen de stralen, die in *I* en *K* op de lens vallen, zeer dicht bij het midden *L* der lens, zich vrij nauwkeurig in één punt *F* vereenigen, dat men het brandpunt voor centrale stralen noemt. Maar lichtstralen die in *G* en *H*, verder van het midden der lens, op het objectief vallen, vereenigen zich nader bij de lens, in *E*, en de lichtstralen die in *A* en *B* onmiddellijk aan den rand invallen, vereenigen zich nog naderbij, nl. in *D*. Dit punt heet het brandpunt van de randstralen.

De verschillende stralen, die evenwijdig aan de as op het objectief vallen, vereenigen zich dus niet nauwkeurig in één punt.

Het gevolg van dit gebrek, dat men de afwijking wegens bolvormigheid noemt, is, dat indien die evenwijdige stralen afkomstig zijn van een ver verwijderd punt, bijv. een ster, die stralen geen eigenlijk gezamenlijk vereenigingspunt hebben, maar dat zij in een zeker vlak *MN*, dat loodrecht op de as der lens staat en dichter dan *F* bij de lens gelegen is, een klein verlicht schijfje als hun kleinste beeld geven; nader bij en verder van de lens is het beeld grooter. Men kan het alleen verminderen, door de randstralen te onderscheppen en alleen centrale stralen door te laten, hetgeen geschiedt door de opening van het objectief door een ringvormigen rand te verkleinen. Welke waarde men ook aan de kromtestralen der voor- en achtervlakte geve, geheel opheffen kan men de afwijking wegens bolvormigheid niet, zoolang men slechts één lens gebruikt.

Afwijking wegens kleurschifting.

Boven was ondersteld, dat de invallende stralen van één kleur, of zooals men zegt, homogeen waren. Het witte licht is niet homogeen, maar bestaat uit stralen van verschillende kleur en verschillende breekbaarheid. Het gevolg daarvan is, dat als er een bundel stralen van wit licht, evenwijdig aan de as, op de lens valt, zie fig. 5, de sterkst breekbare stralen, namelijk de violette, hun brandpunt in *D* en de minst breekbare, namelijk de roode, hun brandpunt in *E* hebben. De oranje, de gele, de groene, de blauwe en de indigo-stralen hebben hunne brandpunten overal tusschen *E* en *D* in. Het gevolg is, dat er weder een vlak *FG* bestaat, loodrecht op de as, waar de stralen zich in den kleinst mogelijken kring vereenigen; vangt men die stralen op een vlak *HI*,

dichter bij de lens op, dan vertoont het beeld van het lichtpunt een rooden rand, en vangt men ze daarentegen op een vlak *KL*, verder van de lens op, een violetten rand. Deze onvolkomenheid noemt men afwijking wegens kleurschifting.

Opheffing dezer afwijkingen; een vraagstuk met vier onbekenden.

Zooals hierboven, bij de beschrijving van den binocle, reeds gezegd is, dient de vereeniging van een vergrootende crownglas-lens met een verkleinende flintglas-lens om de afwijkingen wegens kleurschifting en bolvormigheid zooveel mogelijk op te heffen. Om zulk een objectief met een bepaalden brandpunts-afstand samen te stellen, heeft men vier onbekenden te bepalen, de kromtestralen der voor- en achtervlakte, zoowel van de crownglas- als van de flintglas-lens.

Wil men alleen de kleurschifting opheffen, en een objectief samenstellen, waarvan de brandpunts-afstand gegeven, bijv. = 0,5 Meter is, dan heeft men voor de vier onbekenden nog slechts twee vergelijkingen, waarvan de eerste gegeven wordt door de voorwaarde, dat het objectief voor roode lichtstralen een brandpunts-afstand heeft van 0,5 Meter, en de tweede door de voorwaarde, dat voor violette lichtstralen de brandpunts-afstand ook 0,5 Meter is. Men neemt dan aan, en dit is slechts zeer nabij waar, dat ook de overige lichtstralen zich op zeer weinig na in hetzelfde brandpunt vereenigen.

Maar om vier onbekenden te bepalen, heeft men, zal het voorstel bepaald zijn, vier vergelijkingen noodig, en wij hebben er nog maar twee. Nu is het gebleken mogelijk te zijn, als derde voorwaarde aan te nemen die, dat de afwijking wegens bolvormigheid voor stralen van middelbare breekbaarheid, d. i. de gele lichtstralen, opgeheven is, zoodat de randstralen van die kleur, door het dubbele objectief gaande, in hetzelfde brandpunt samenkomen als de centrale stralen. Men neemt dan aan, en dit is ook niet ver van de waarheid, dat ook voor de roode en violette stralen de afwijking wegens bolvormigheid opgeheven is.

Vierde vergelijking.

Voor vierde vergelijking zijn verschillende voorwaarden voorgeslagen. Men kan bijv., zooals CLAIRAUT omstreeks 1760 voorstelde, daarvoor aannemen de voorwaarde, dat de tweede en derde kromtestraal gelijk zijn, zoodat de crownglas- en de flintglas-lens aan elkander gehecht kunnen worden. Of ook, dat de vierde oppervlakte plat, d. i. dat de vierde kromtestraal oneindig groot is. In de objectieven der meeste binocles, en ook in die van vele fransche lange kijkers, zijn deze beide voorwaarden

vereenigd, hetgeen alleen kan geschieden door hetzij de afwijking wegens bolvormigheid, hetzij die der kleurschifting niet geheel en al op te heffen.

In andere objectieven is de eerste en tweede kromtestraal gelijk, de crownglas-lens is dus gelijkbol. Dit geeft wel eenig gemak voor het slijpen, daar dan voor beide oppervlakken slechts één stel slijpkommen noodig is, maar het is niet de voordeeligste vorm.

Meest gebruikelijke vorm van objectieven.

Er zijn nog andere voorwaarden voorgeslagen om de 4e vergelijking te verschaffen, die wij hier met stilzwijgen zullen voorbijgaan.

De meeste objectieven van goede kijkers worden tegenwoordig vervaardigd overeenkomstig de door JOHN, F. W. HERSCHEL in 1822 ontwikkelde theorie, welke ook voor een terrestrischen kijker zeer geschikt is. In deze theorie werd als 4e vergelijking de voorwaarde aangenomen, dat de afwijking wegens bolvormigheid niet alleen opgeheven werd voor evenwijdig invallende lichtstralen, maar ook voor lichtstralen, die van een niet ver afzijnd punt in de as des kijkers afkomen. De objectieven, naar deze theorie geslepen, hebben een doorsnede, zooals in fig. 6 geteekend is. Van de crownglas-lens is de vlakste zijde naar buiten, de bolste naar binnen gekeerd, de flintglas-lens is bol-hol, of een zoogenaamde meniscus, hare voorste oppervlakte is iets minder gekromd, dan de achterste oppervlakte der crownglas-lens, zoodat beide lenzen elkaar in het middelpunt zouden aanraken, indien men dit niet door het tusschenvoegen van een papieren ring of stukjes tinfoelie aan den rand belette. De 4e of achterste oppervlakte eindelijk heeft een zeer grooten kromtestraal, is dus slechts zeer flauw gebogen.

Meest alle goede kijkers hebben objectieven, naar dit model geslepen. Heeft men het objectief van zulk een kijker uit elkander genomen, en zet men de lenzen niet weder, op dezelfde wijze geplaatst, in de vatting, zoodat bijv. de meest bolle zijde der crownglas-lens naar buiten gekeerd is, dan geeft de kijker dadelijk minder heldere beelden. Men lette hier dus wel op.

De beroemde FRAUNHOFER heeft de theorie zijner voortreffelijke kijkers niet bekend gemaakt, maar de objectieven, welke het door hem gestichte en nog onder de firma G. & S. MERZ bestaande optische instituut te Munchen aflevert, hebben ook nagenoeg denzelfden vorm als die van HERSCHEL.

Wat omtrent het objectief van den langen kijker gezegd is, geldt ook van dat van den kijker in het sextant en in den prismacirkel; deze objectieven zijn volgens dezelfde beginselen samengesteld.

Verschillende oculairen of oogbuizen.

Meer verscheidenheid is er op te merken in de oogbuizen of oculairen.

Men heeft in de kijkers oogbuizen, bestaande uit één, twee, drie en vier lenzen; in de vorige eeuw werden er ook oogbuizen van vijf en zes lenzen vervaardigd, doch deze zijn thans niet meer in gebruik.

Zooals wij boven gezien hebben, bevat de hollandsche kijker een oculair uit ééne lens, of een zoogenaamd enkelvoudig oculair, zijnde deze lens een verkleinende.

Het door het objectief gevormd beeld *CF*, fig. 3, van een verwijderd voorwerp *DE* is omgekeerd; indien wij nu dit beeld niet, zooals in den hollandschen kijker, onderscheppen, dan kunnen wij het door een vergrootende lens beschouwen; dit begreep KEPPLER ook, kort na de uitvinding der verrekijkers, en hij stelde dus in 1610 voor, het oculair te doen bestaan uit een vergrootende lens. Zulk een kijker noemt men, naar hem een Keppler'schen kijker, hij werd nog geruimen tijd als onderdeel van sterrekundige werktuigen gebruikt.

Is F de brandpunts-afstand van het objectief, en f die van het oculair, dan is, voor een normaal of verziend oog, de vergrooting $= -\frac{F}{f}$. Het minteeken beduidt, dat het beeld omgekeerd is. Voor een oog, dat een afstand van duidelijk zien $= D$ heeft, is de vergrooting $= -\left(\frac{F}{f} + \frac{F}{D}\right)$; derhalve voor een bijziende sterker dan voor een verziende. Men vindt dit op dezelfde wijs als boven voor een hollandschen kijker is aangetoond.

Voor sterke vergrootingen moet men dus oculairen met kleinen brandpunts-afstand gebruiken, en ook alleen voor deze worden tegenwoordig nog in astronomische kijkers enkelvoudige oculairen aangewend. Een dergelijk enkelvoudig oculair kan niet achromatisch zijn en geeft ook een aanzienlijke afwijking wegens bolvormigheid, waarom men, door verbinding van meerdere lenzen tot één oculair, getracht heeft, deze gebreken te verminderen.

Bij de oculairen moet men de afwijking wegens bolvormigheid eenigszins anders opvatten, dan bij de objectieven. Bij de objectieven beschouwt men, (en dit is voor de theorie der kijkers voldoende), de stralen, die evenwijdig aan de as op het objectief vallen; vereenigen de rand- en centrale stralen zich in één punt, dan beschouwt men de afwijking wegens bolvormigheid als opgeheven. Wel vallen van voorwerpen, op zijde der as gelegen, schuine stralen op het objectief, maar de hoek, dien deze stralen met de as maken, is zoo gering, dat ook voor die stralen geen afwijking wegens bolvormigheid merkbaar is, als zij voor de evenwijdig aan de as invallende stralen opgeheven is.

Beschouwen wij nu de werking van een enkelvoudig oculair voor homogene lichtstralen. In fig. 7 zij A dit oculair, BCD het beeld, door het objectief gevormd. Het punt C ligge in de as, en neme tevens het brandpunt van het oculair in, dan vallen op het punt C alle lichtstralen,

komende van het objectief en die liggen binnen den kegel *GCF*, die *EC*, of de as des kijkers, tot as heeft. Die stralen vallen, doorloopende, op het oculair en wel op den cirkel *ah*, en verlaten dit oculair in een cilindrischen stralenbundel, waarvan *YI* de as is, en waarvan de lijnen *XH* en *ZK* de grenzen aangeven. Door een normaal oog opgevangen, dat voor evenwijdige stralen geaccomodeerd is, vereenigt deze stralenbundel zich op het netvlies tot één punt.

Beschouwen wij nu van het beeld het punt *D*, dat op zekeren afstand buiten de as ligt. De lichtkegel *LDN*, die dit punt van het objectief ontvangt, heeft *DM* tot as; de stralen vallen, doorloopende, op een nagenoeg cirkelvormige vlakte *cd* van het oculair; indien zij nu, gebroken zijnde, insgelijks een cilindrischen stralenbundel *XO*, *ZQ*, die *YP*, evenwijdig aan *DA*, tot as heeft, samenstelden, zou voor hetzelfde oog ook een zuiver beeld op het netvlies gevormd worden. Maar dit is nu bij een dergelijk oculair het geval niet. De stralen *eQ* en *gO* zijn niet volkomen evenwijdig aan *fP*, en convergeeren bijv. naar een punt *h*. Is dit nu het geval met al de stralen, die op het cirkeltje *cd* vallen, dan ontstaat er op het netvlies van het oog, in plaats van een punt, een ronde vlek, als beeld van het punt *D*. Maar dit is zelfs nog niet eens het geval. In het algemeen zullen de stralen, die op den omtrek van het cirkeltje *cd* invallen, zich niet in één punt *h* vereenigen, maar de stralen, die rechts en links van het middelpunt van dat cirkeltje invallen en die niet in de figuur konden geteekend worden, vereenigen zich, hetzij dichter bij het oculair dan het punt *h*, hetzij verder af. Het gevolg is, dat zich in het algemeen van elk punt *D* van het beeld, welk punt buiten de as gelegen is, op het netvlies van het oog in stede van een ronde, een ovaalvormige vlek als beeld vormt. Er ontstaat hierdoor een onduidelijkheid van het beeld aan den rand van het veld, en als men nu het veld zoodanig wil beperken, dat alleen datgene zichtbaar is, wat zich duidelijk voordoet, dan moet in het vlak, dat door *C*, loodrecht op de as, gaat, een platte ring, of zoogenaamd diaphragme geplaatst worden, die alle lichtstralen onderschept, welke geen duidelijke beelden op het netvlies veroorzaken; maar daardoor wordt het veld zeer klein.

Het blijkt uit de figuren, dat alle stralen, die van het objectief komen, door den cirkel gaan, die *XZ* tot middellijn heeft. Hier wordt ook een beeld van het objectief gevormd, zooals men gemakkelijk zien kan, als men zijn oog eenige decimeters achter het oculair in de as des kijkers houdt. Van die kijkers, waar dit plaats heeft, d. i. van alle soorten, behalve de Hollandsche kijkers, kan men het gebruik veraangenamen, door op de oogbuis een zoogenaamden oogdop te plaatsen, die tusschen het oogglas en *XZ*, van een ronde opening voorzien is; daardoor wordt aangegeven, waar men het oog houden moet, om alle stralen op te vangen, die van het objectief komen.

De oculairen, uit meer dan een lens samengesteld, noemt men samengestelde oculairen.

De eerste, die het oculair van den kijker trachtte te verbeteren, was CHRISTIAAN HUYGENS, omstreeks 1655. In plaats van een enkelvoudig oculair, gebruikte HUYGENS twee dubbel-bolle lenzen, fig. 8, wier brandpunts-afstanden tot elkaar stonden als 4 tot 1, terwijl de afstand dubbel zoo groot was, als de kortste dezer twee brandpunts-afstanden. Zijn doel hiermede was de afwijking wegens bolvormigheid van den stralenbundel aan den rand van het veld te verminderen, en het is een toeval geweest, dat hij bij die poging een oculair samenstelde, dat ook grootendeels de kleurschifting ophief. Want onderzoekt men, aan welke eischen een oculair, dat uit twee lenzen van dezelfde glassoort bestaat, voldoen moet, om achromatisch te zijn, dan vindt men, dat de afstand der beide lenzen gelijk moet zijn aan de halve som harer brandpunts-afstanden, en aan die eigenschap zou het oculair van HUYGENS voldoen, als de afstand der lenzen $= 2\frac{1}{2}$ of de brandpunts-afstand der voorste of collectief-lens $= 3$ genomen ware (1).

Een dergelijk oculair, waarvan de brandpunts-afstanden der lenzen $= 3$ en 1, de afstand der lenzen $= 2$ is, biedt tevens bij gelijke opening der eerste lens het grootste veld aan, en wordt nog tegenwoordig steeds voor sterrekundige kijkers en telescopen gebruikt. Men noemt het gewoonlijk een hugeniaansch oculair, ook wel oculair van CAMPANI, of wel een negatief oculair, om een straks te vermelden reden.

In de meeste sextanten vindt men ook een oogbuis met een dergelijk oculair, zie fig. 9, maar de beide lenzen worden tegenwoordig niet meer dubbel-bol, maar plat-bol genomen, beide met de bolle zijde naar het objectief gekeerd. Door deze wijziging wordt in het midden van het veld de nog bestaande, zeer geringe afwijking wegens bolvormigheid niet verminderd, maar wel worden aan de randen van het veld de beelden scherper.

Hoewel het voor de vernietiging der afwijking wegens bolvormigheid noodig zou zijn, ook andere dan plat-bolle of gelijk-bolle lenzen te gebruiken, worden toch door de meeste vervaardigers van kijkers geen andere lenzen voor de vervaardiging der oogbuizen gebruikt, en zij zijn ook voor het gewone gebruik, waarbij men de beelden der voorwerpen, die men bezien wil, in het midden van het veld brengt, geheel toereikende. Alleen dan, wanneer het doel is, een groot veld te hebben en als men aan de randen van dat veld nog zuivere beelden hebben wil, is het wenschelijk nog verdere verbeteringen aan de oogbuizen aan te brengen.

Op dit terrein hebben zich onder anderen de thans overledene KELLNER

(1) In vele werken wordt vermeld dat HUYGENS de verhouding 3, 1, 2 aangaf, maar dit is onjuist, men zie de 51e propositie in zijne Dioptrica.

te Wetzlar en de firma C. A. STEINHEIL SÖHNE te Munchen verdienstelijk gemaakt, doch daar hunne oculairen alleen voor astronomische kijkers gebruikt worden, zullen wij ze hier met stilzwijgen voorbijgaan.

Zijn in een tweevoudig oculair de brandpunts-afstanden der lenzen, waaruit het bestaat $= f$ en f', de afstand der lenzen, eigenlijk de afstand van de naar elkander toeliggende knooppunten der lenzen $= d$, dan is de brandpunts-afstand der lens, die dezelfde vergrooting zou geven als het oculair:

$$(f) = \frac{ff'}{f + f' - d}.$$

In het zoogenaamd hugeniaansch oculair kan men stellen:

$$f = 3a$$
$$f' = a$$
$$d = 2a$$

dus

$$(f) = \frac{3}{2}\,a.$$

En den brandpunts-afstand van het objectief F noemende, is de vergrooting:

$$V = \frac{F}{(f)}.$$

Stel bijv., dat de brandpunts-afstand van het objectief is 192 millimeters, dat van het voorste glas, de zoogenaamde veldlens of collectief-lens 48, van het achterste glas 16, en dat de afstand der beide lenzen 32 millimeters bedraagt, dan is de brandpunts-afstand der lens die hetzelfde vermogen heeft als dit oculair 24 millimeters en de vergrooting van den kijker is 192 : 24 of 8 maal.

Het beeld door het objectief gevormd, komt, evenals bij den hollandschen kijker, niet tot werkelijkheid, maar de stralen, die van een ver verwijderd punt op het objectief vallen, worden vóór zij, na den doorgang door dat objectief, zich vereenigd hebben, door de collectief-lens opgevangen, zie fig. 10. In die figuur is A het objectief, B de collectief-lens, C de ooglens van het oculair. Wij hebben nu $BC = 2a$, maar de brandpunts-afstand der 2e lens is a; nemen wij dus weder aan, dat het oog van den waarnemer verziend en voor evenwijdige stralen geaccommodeerd is, dan moet het beeld E gevormd worden op den afstand $CE = a$, van die lens, derhalve is:

$$BE = BC - CE = 2a - a = a.$$

De 1e lens B heeft tot brandpunts-afstand $3a$; wil men nu weten van welk punt, links van de lens B, de stralen moeten divergeeren, om zich in E te vereenigen, met andere woorden waar zich het beeld, door het

objectief gevormd, bevinden moet, dan noeme men den afstand van dit punt van die 1e lens x, links positief, en dan moet x gevonden worden uit de grondvergelijking der dioptrica:

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{a} = \frac{1}{3a}.$$

Men vindt

$$\frac{1}{x} = -\frac{2}{3a}$$

dus

$$x = -1\tfrac{1}{2}a.$$

Het beeld, dat door het objectief gevormd wordt, ligt dus niet links van, d. i. vóór de collectief-lens, maar rechts, op $1\tfrac{1}{2}a$ afstand er achter; als dus de collectief-lens niet bestond, zou het in D, midden tusschen E en C, gevormd worden. Wegens deze negatieve waarde van x wordt het oculair een negatief oculair genoemd. Wil men, zooals in de sextant-kijkers gebruikelijk is, een of meer draden in den kijker spannen om het midden van het veld scherper aan te geven, dan moet de ring, waartusschen die draden gespannen worden, dus in E worden aangebracht, zoodat men door de lens C ziende, draden en beeld tegelijk scherp ziet.

Een bijziend oog is verplicht de geheele oogbuis een weinig in te schuiven, om het beeld duidelijk te zien, maar dan ziet het wel het beeld, maar niet de draden scherp.

Nog valt op te merken, dat de ooglens C, even als elke andere enkele lens, niet achromatisch zijn kan; terwijl dus het beeld van een ver verwijderd voorwerp in een sextant-kijker zonder gekleurde randen gezien wordt, is dit met de draden niet het geval.

Plaatst men in een oculair van HUYGENS een dradennet tusschen de lenzen, dan zal men, als men het oculair in- of uitschuift, om een zuiver beeld te verkrijgen, ook de draden verplaatsen. Bij meridiaan-kijkers, draden-micrometers, theodolieten enz., is het echter van belang, dat de draden een plaatsing hebben ten opzichte van het objectief, die niet verandert, als men het oculair in- of uitschuift, en dat dus een oculair worde aangewend, waarmede draden, buiten, dus vóór dat oculair geplaatst, scherp kunnen gezien worden. Een dergelijk oculair is het positief oculair of oculair van RAMSDEN. Men vindt ze aangewend in de kijkers der patent- of prisma-cirkels en der sextanten van PISTOR en MARTINS, of van den opvolger dier firma WEGENER te Berlijn.

RAMSDEN, een der voornaamste engelsche instrumentmakers uit de vorige eeuw, vond dit oculair in 1782 uit. Het bestaat uit twee platbolle glazen, uit dezelfde glassoort (crownglas) samengesteld, waarvan de bolle

zijden naar elkander gekeerd zijn: Er worden door verschillende makers verschillende verhoudingen voor de brandpunts-afstanden en den afstand der lenzen aangenomen; zoo vindt men de volgende verhoudingen:

	Vroeger gewoon engelsch model.	In een draden-mikrometer van Fraunhofer.	Volgens Prechtl; praktische dioptrik.	In de kijkers der sextanten en prismacirkels van Pistor en Martins
f	3	9	9	5
f'	3	7	5	3
d	2	3	4	2
brandpunts-afstand der equivalente lens	$2\frac{1}{4}$	$4\frac{11}{13}$	$4\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$

In deze lenzenstelsels is de afstand a steeds minder dan de halve som der brandpunts-afstanden, $\frac{1}{2}(f + f')$; zij zijn dus niet geheel achromatisch; maar daarentegen wordt de afwijking wegens bolvormigheid tamelijk volledig opgeheven, ook aan de randen van het veld, en vandaar dat zij zoo doelmatig zijn voor het gebruik, wanneer men, behalve het beeld, dat het objectief geeft, tevens een dradennet scherp wil zien. Een enkele lens geeft slechts in het midden een dragelijk beeld, aan de randen wordt het spoedig onzuiver door de afwijking wegens bolvormigheid, en de uitvinding van RAMSDEN was dus een groote verbetering.

Bij de kijkers van de prisma-cirkels van PISTOR en MARTINS zijn gewoonlijk twee Ramsdensche oculairen gevoegd; een nauwkeurige meting gaf de volgende getallen:

	Zwakste oculair	Sterkste oculair
Brandpuntsafstand 1e lens	58,6 mM.	29,1 m M.
Dikte der „ „	2,0 „	2,0 „
Brandpuntsafstand 2e „	35,2 „	17,4 „
Dikte der „ „	1,4 „	1,7 „
Afstand der lenzen	21,0 „	10,8 „
Brandpuntsafstand der evensterke (equivalente) lens	28,3 „	14,2 „

Daar nu de brandpunts-afstand van het objectief = 121,0 m.M. was, zoo waren de vergrootingen 4,3 en 8,5 maal.

Wij moeten nog ten slotte handelen, over de zoogenaamde aardsche oogbuis, die in den langen kijker gebruikt wordt. Deze oogbuis, waarvan de uitvinding, (omtrent het midden der 18de eeuw) gewoonlijk aan JOHN DOLLAND, den stichter der firma van dien naam te Londen, wordt toegeschreven, heeft ten doel, de voorwerpen rechtop te zien, en

bestaat daarvoor uit twee glazen meer dan de Hugeniaansche of Ramsdensche oogbuizen.

Hetzelfde doel wordt ook wel door een enkelvoudige verkleinende lens bereikt, zooals in den hollandschen kijker, maar bij het gebruik van een dergelijke lens als oculair, zou men bij sterke vergrootingen slechts een zeer klein veld hebben; de aardsche oogbuis geeft een grooter veld en kan bovendien achromatisch gemaakt worden, hetgeen althans een enkelvoudige holle lens niet is. Daarentegen heeft men bij een kijker met aardsche oogbuis meer lichtverlies; het objectief voor één lens rekenende, moet het licht door vijf glazen heengaan; naar hetgeen boven gezegd is, komt er dus slechts

$$0{,}9^5 = 0{,}59$$

van het oorspronkelijke licht in het oog, en gaat er dus 41 percent licht verloren. Beschouwt men des nachts een enkel lichtpunt, bijv. een ster of een veraf zijnde lantaarn, dan heft de sterke vergrooting, die gewoonlijk 10 tot 20 maal bedraagt, dit nadeel wel op; maar niet wanneer men een verlichte vlakte beschouwt, zooals de zeilen van een niet al te ver verwijderd schip.

Wat nu de inrichting aangaat van zulk een aardsche oogbuis, d. i. de lengte der acht kromtestralen van de vier lenzen waaruit zij bestaat, en der drie afstanden tusschen de opvolgende lenzen onderling, daaromtrent is geen vaste regel aan te geven. De voorwaarde, dat het geheele stelsel der 4 lenzen achromatisch zij, geeft slechts één vergelijking, niet tusschen de kromtestralen, maar tusschen de vier brandpunts-afstanden en de drie onderlinge afstanden; men kan dus zes dezer zeven grootheden willekeurig aannemen, en dan geeft die vergelijking de zevende.

Ook de voorwaarde, dat de afwijking wegens bolvormigheid, voor niet al te schuin invallende stralen, opgeheven zij, geeft slechts één vergelijking, waarin de kromtestralen der lenzen óók voorkomen. Men kan dus aan die vergelijking ook op oneindig vele wijzen voldoen, en het onderzoek leert, dat men met behulp van platbolle of gelijk-bolle lenzen deze afwijking reeds geheel voldoende kan opheffen, zoodat ook geen andere lenzen tot de samenstelling van een aardsche oogbuis gebruikt worden. Evenmin bestaat de noodzakelijkheid om verschillende glassoorten te bezigen; de buizen der aardsche oogbuizen zijn dus alle uit dezelfde glassoort, namelijk crownglas, samengesteld. De verhoudingen der brandpunts-afstanden zijn dus ook in aardsche oogbuizen, van verschillende fabrieken afkomstig, verschillend; de loop der lichtstralen echter is in alle nagenoeg gelijk.

Fig. 13 vertoont op halve grootte een doorsnede van een aardsche oogbuis, behoorende aan een zeekijker van franschen oorsprong, zooals zij verkrijgbaar zijn bij de heeren KIPP EN ZONEN te Delft.

De brandpunts-afstanden f, f', f'' en f''' der vier lenzen worden, met een daarvoor bestemden toestel, beschreven in de „Verslagen en Mededeelingen der Kon. Akademie van Wetenschappen, Afdeeling Natuurkunde," 2[e] serie, deel XII, opzettelijk nauwkeurig gemeten; de dikten der lenzen, d, d', d'' en d''', evenzoo met een zoogenaamden spherometer. De afstanden der lenzen moeten genomen worden van de naar elkander toegekeerde knooppunten. Men herinnere zich hierbij, dat in een vlak-bolle lens het eene knooppunt ligt in het midden der bolle vlakte, en het andere binnen de lens, in de as, op ongeveer één-derde der dikte van het eerste knooppunt verwijderd; dat in een gelijk-bolle lens die knooppunten beide liggen binnen de lens, in de as, de dikte der lens nagenoeg in drie gelijke deelen verdeelende.

De eerste lens, van het objectief af gerekend, AB, is platbol, met de platte zijde naar het objectief gekeerd, $f = 50{,}8$, $d = 2{,}9$, opening $AB = 22$ millimeters.

De tweede lens CD, is gelijkbol, $f' = 55{,}0$, $d' = 1{,}95$, opening $= 16{,}5$ millimeters.

De derde lens, EF, is platbol, met de bolle zijde naar het objectief gekeerd, $f'' = 63.6$, $d'' = 4{,}1$, opening $= 29$ millimeters.

De vierde lens, GH, is ingelijks platbol, met de bolle zijde naar het objectief gekeerd, $f''' = 41{,}3$, $d''' = 2{,}7$, opening $= 18$ millimeters.

Het blijkt verder bij het losschroeven der buizen, waaruit de geheele oogbuis bestaat, dat er zich tusschen de eerste en tweede lens een scherm of diaphragma bevindt, met een ronde opening IK, hebbende ongeveer 4,5 millimeters middellijn. Evenzoo tusschen de derde en vierde lens een scherm met een opening LM, hebbende een middellijn van 19,4 millimeters. Eindelijk bevindt zich nog achter de vierde lens de oogdop, hebbende op 5 millimeters van de platte zijde dier lens, een ronde opening van 11 millimeters middellijn.

Voor de afstanden der naar elkander toegekeerde oppervlakten der lenzen werd gevonden:

1[e] en 2[e] lens:	60,1	mM.
2[e] „ 3[e] „	114,45	„
3[e] „ 4[e] „	57,8	„

In de figuur is de loop aangeduid der stralenkegels, komende van drie punten a, b en c van het beeld, dat van een ver afgelegen voorwerp door het objectief gevormd wordt. Dat beeld is omgekeerd en is daarom voorgesteld door een pijltje, hebbende de punt naar beneden gekeerd.

Volgen wij nu den stralenkegel, komende uit b, een punt midden in het beeld, en dus in de as van het oculair gelegen. Die stralenkegel komt van het objectief, en heeft b tot top; dat punt b is, als het voorwerp zeer ver af is, het voorname brandpunt van het objectief; kent men dus den

brandpunts-afstand en de vrije opening van het objectief, dan is de tophoek van dien lichtkegel bekend. Die lichtkegel valt nu, door den top *b* heengaande, in *de* op de eerste lens; uit de teekening ziet men, dat de stralen, die hem samenstellen, ook na den doorgang door die lens, uit elkander loopen, dus geen beeld achter die eerste lens vormen, en uit elkander loopende op de tweede lens *CD* vallen.

Na den overgang door deze lens loopen de lichtstralen weer te zamen, maar worden, vóór zij zich vereenigd hebben, door de derde lens *EF* opgevangen, zoodat zij na den doorgang door deze lens, zich in het punt *f* vereenigen.

Met de stralen, die van den top *c* en den voet *a* der pijl *ac* uitgaan, is het evenzoo gesteld, die komen in de punten *M* en *L* te zamen, daar wordt dus een beeld gevormd van *ba*, dat zelf reeds een beeld is. Terwijl nu *ba* een omgekeerd beeld is, is *LM* weder een rechtopstaand beeld, dat door het oog, door middel van de vierde lens *GH* bekeken wordt. De lichtkegels, die, na door hunne toppen *M*, *f* en *L* gegaan te zijn op de 4e lens *GH* invallen, verlaten die lens als bundels evenwijdige stralen, die allen door den cirkel *PQ* gaan, waar de pupil van het oog des waarnemers zich bevinden moet, om al de lichtstralen, die in den kijker vallen, op te vangen, en dus het geheele veld in eens te overzien.

Men ziet nu de beteekenis der beide schermen *IK* en *LM*. Laatstgenoemd scherm behoort in een vlakte te liggen, loodrecht op de as der oogbuis, en gaande door het brandpunt *f* der 4e lens *GH*. Zijn rand wordt dus door het oog scherp gezien, en het is deze rand, die in den kijker het veld begrenst.

Het andere scherm *IK* wordt alleen daarom geplaatst, waar de figuur zulks aantoont, omdat het in de uitvoering zijne bezwaren zou hebben, een lens, niet grooter dan noodig, op de plaats der 2e lens *CD* te plaatsen; de opening *KI* kan licht zuiver centrisch gedraaid worden, en bewerkt nu, dat alleen het middelste gedeelte der tweede lens, voor zoover noodig, licht ontvangt. Ware het scherm er niet, dan zoude die tweede lens nog dichter bij de randen licht kunnen ontvangen van voorwerpen, verder van de as des kijkers gelegen, dan die waarvan *ab* het beeld voorstelt, maar die lichtstralen zouden niets baten, daar het scherm *LM* geen dergelijke lichtstralen doorlaat; zij zouden daarentegen wel kunnen schaden doordien zij valsch licht in den kijker konden doen ontstaan.

Wij zullen ten slotte laten zien, hoe men uit de boven gegeven afmetingen vindt de divergentie- en convergentiepunten der lichtstralen, de plaatsen der schermen en van het oog, en den afstand van de eerste lens *AB* tot het beeld *ab*, dat door het objectief gevormd wordt. Deze berekening kan als voorbeeld dienen hoe zij ook voor andere oculairen geschieden moet. Men zal zien, dat die berekening, zelfs zonder de dikten

der lenzen te verwaarloozen, geen bezwaar in heeft en alleen neerkomt op de toepassing van de eerste grondformule der dioptrica:

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$$

waarin voorstelt

a den afstand van het voorwerp,
b „ „ „ „ beeld,
f „ brandpunts-afstand der lens.

Verwaarloost men de dikte der lens, dan worden deze afstanden geacht te zijn gemeten „tot de lens"; verwaarloost men die dikte niet, dan moet a tot het naaste knooppunt, en b van het andere knooppunt af gemeten worden. Voor de berekening van b heeft men, deze vergelijking oplossende:

$$b=\frac{af}{a-f}.$$

Rekent men, zooals wij zullen doen, a positief als het voorwerp rechts van de lens ligt, dan is b positief als het beeld links van de lens ligt.

Het spreekt van zelf, dat men zich even goed van de tweede grondformule der dioptrica:

$$cd=f^2$$

kan bedienen, waarin c voorstelt den afstand van het voorwerp tot het eerste brandpunt, d den afstand van het beeld tot het tweede brandpunt, beide positief genomen, als voorwerp of beeld verder van de lens liggen dan het brandpunt. De resultaten voor de ligging der convergentie- of divergentiepunten zullen dezelfde zijn, als die voor de eerste grondformule verkregen worden.

Wij zullen in den vervolge de eerste grondformule gebruiken.

Tellen wij nu langs de as de afstanden van het punt R af, dat in het midden van de achtervlakte der vierde lens ligt, in de richting naar het objectief toe, dus van de rechter- naar de linkerhand, dan hebben wij, voor de beide oppervlakten der vier lenzen, de volgende plaatsen, uitgedrukt in millimeters:

4e lens		3e lens		2e lens		1e lens	
plat-bol		plat-bol		dubbel-bol		bol-plat	
0,0	2,7	60,5	64,6	179,05	181,0	241,1	244,0.

Lettende op de boven opgegeven dikten der lenzen, en op hetgeen omtrent de plaatsen der knooppunten is herinnerd, heeft men voor de ligging dezer knooppunten, die in de figuur ook aangegeven zijn, de onderstaande getallen, waarmede nu verder de berekening der convergentiepunten is volbracht.

4[e] lens	3[e] lens		2 lens	
1,8 2,7	63,2	64,6	179,7	180,35
f 41,3	44,0 af		37,1 af	
44,0 bij	19,2 × 63,6 / — 44,4	= — 27,5 bij / 37,1	142,6 × 55,0 / 87,6	= 89,5 bij / 269,85

1[e] lens

241,1	242,1
269,85 af	
— 28,75 × 50,8 / — 79,55	= + 18,4 bij / 260,5

Om deze berekening te begrijpen, herinnere men zich, dat $f' = 63,6$, $f'' = 55,0$ en $f''' = 50,8$ millimeters; men ziet nu licht in, dat 44.0 aangeeft de ligging van het convergentiepunt f,

37,1 aangeeft de ligging van het convergentiepunt g der stralen tusschen de 2[e] en 3[e] lens.

269,85 aangeeft de ligging van het divergentiepunt h der stralen tusschen de 1[e] en 2[e] lens.

260,5 aangeeft de ligging van het divergentiepunt b, dat met het brandpunt van het objectief moet samenvallen.

Daar nu de voorvlakte der eerste lens op 244 ligt, zoo is de afstand van deze voorvlakte tot het brandpunt 16,5 millimeters.

Om de ligging en grootte der schermen IK en PQ te vinden, moeten wij met onze berekening de omgekeerde richting volgen. KI is blijkbaar het beeld van het objectief, gevormd door de 1[e] lens.

De brandpunts-afstand van het objectief was	474,75
Afstand tot het 1[e] knooppunt der 1[e] lens (zie boven) . . .	18,4
Dus afstand van het objectief tot dat knooppunt.	493,15

$$\frac{493,15 \times 50,8}{442,35} = 56,6.$$

2[e] knooppunt der 1[e] lens ; 241,1 af, (bovenste v. onderste)

Plaats van het convergentiepunt p en van scherm IK = 184,5

1[e] knooppunt 2[e] lens : 180,35 af

$$\frac{4,15 \times 55,0}{-50,85} = -4,5$$

2[e] knooppunt 2[e] lens : . . . . . . 179,7 af (b.v.o.)

Divergentiepunt o der stralen, komende uit k, na den doorgang door de 2[e] lens 184,2

1[e] knooppunt 3[e] lens : . . . . . . 64,6 af

Afstand : 119,6

$$\frac{119,6 \times 63,6}{56,0} = 135,8$$

2[e] knooppunt 3[e] lens : 63,2 af (b. v. o.)

Convergentiepunt k derzelfde stralen, na
doorgang door de 3[e] lens . . . . . . — 72,6
1[e] knooppunt 4[e] lens 2,7 af

$$\frac{-75{,}3 \times 41{,}3}{-116{,}6} = +26{,}7$$

2 knooppunt 4[e] lens 1,8
Plaats van het convergentiepunt i en van het oog, PQ — 24,9

In de figuur zijn nog aangegeven de punten l en m, zijnde de convergentiepunten der lichtstralen, respectievelijk binnen de 4[e] lens GH èn binnen de 3[e] lens EF. Deze punten worden gevonden door de vergelijkingen

$$lR = n \times iR = 1{,}53 \times iR$$
$$mT = n \times kT = 1{,}53 \times kT,$$

waar n de brekings-coëfficient van het glas (omtrent 1,53) beteekent.

De opening van het objectief was 41 millimeters, derhalve naar den bekenden regel:

$$KI = \frac{56{,}6}{493{,}15} \times 41 = 4{,}705 \text{ mM.}$$

en daaruit evenzoo:

$$PQ = \frac{26{,}7}{75{,}3} \times \frac{135{,}8}{119{,}7} \times \frac{4{,}5}{4{,}15} \times 4{,}705 = 2{,}05.$$

Volgens een bekende eigenschap is de vergrooting der kijkers gelijk aan de opening van het objectief, gedeeld door de middellijn van het beeld PQ, dat door het geheele oculair van het objectief gevormd wordt. Wij hebben dus

$$\text{Vergrooting} = \frac{41}{2{,}05} = 20 \text{ maal.}$$

Er bestaat nog een andere wijze, om de vergrooting van een kijker te berekenen. Men bepale namelijk den brandpunts-afstand (f) van het equivalente eenvoudig oculair, en dan is de

$$\text{Vergrooting} = -\frac{F}{(f)}.$$

Nu is de berekening van deze (f) voor een stelsel van 4 lenzen nog al samengesteld; een van de kortste methoden is de berekening door de formule:

$$(f) = \frac{f . f' . f'' . f'''}{(f-a) f' (f'' + f''' - c) + f'' (f''' - c)(f + f' - a) - b (f + f' - a)(f'' + f''' - c)}$$

waar a den afstand van de naaste knooppunten der 1[e] en 2[e] lens, = 60,75
b „ „ „ „ „ „ 2[e] „ 3[e] „ = 115,1
c „ „ „ „ „ „ 3[e] „ 4[e] „ = 60,5

beteekent.

Deze formule geeft:

$$(f) = -23{,}7.$$

Derhalve:

$$\text{Vergrooting} = + \frac{474{,}75}{23{,}7} = 20 \text{ maal, als voren.}$$

Wij verkrijgen (f) negatief, en derhalve de vergrooting positief; dat (f) negatief zou zijn, konden wij vermoeden, omdat de kijker rechtziend is, evenals de hollandsche kijker, die een hol glas tot oculair heeft.

Werkelijk ziet men, dat, als men de oogbuis uit den kijker neemt en haar omgekeerd, met het eerste glas naar het oog gekeerd, op een afstand van eenige decimeters van het oog houdt, de voorwerpen in de verte er zeer verkleind door en tevens ver verwijderd evenals door een sterke dubbel-holle lens.

Beschouwt men in plaats van de lichtstralen, die uit b uitgaan, die welke uit a of c afkomen, dan kan men, hetzij door ze uit de teekening te ontleenen, hetzij door berekening vinden, hoe groot de openingen der lenzen minstens behooren te zijn.

De figuur geeft voor de noodzakelijke openingen:

der	lens	AB	13,5	millimeters,
„	„	CD	8,0	„ ,
„	„	EF	27,5	„ ,
„	„	GH	10,8	„ ,

De oogdop bevat een opening van 11 millimeters middellijn op een afstand van 5 millimeters van de achtervlakte der vierde lens. Blijkens de figuur ware een middellijn van 9 millimeters voldoende geweest.

Het medegedeelde zal voldoende zijn, om de werking der aardsche oogbuis toe te lichten. De verhoudingen der afstanden en brandpuntsafstanden zijn zooals gezegd is, gedeeltelijk willekeurig; de eigenschappen, waaraan de oogbuis voldoen moet, bedingen voornamelijk de keuze der genoemde grootheden: ten eerste de vergrooting, die men verlangt, dat de kijker bezitten zal, ten tweede de voorwaarde, dat het veld zoo groot mogelijk zij. Door op deze eischen te letten is het model, waarvan de teekening een voorbeeld geeft, als datgene aan te nemen, dat tegenwoordig min of meer algemeen gevolgd wordt.

De samenstellers schijnen het met de voorwaarde van achromatisme niet zoo bijzonder nauw te nemen, want als men, zooals boven gezegd is, uit de formule, die het achromatisme bedingt, c oplost, verkrijgt men:

$$c = \frac{[b(a + f') - (2a - f)(2b - f')](f' + f'') + f'f''(2a - (f + f'))}{f(3b - 2(f' + f'')) + f'(3(a + b) - 2f'') - a(4b - 3f')}$$

en substitueert men nu hierin de waarden, die op onze oogbuis betrek-

king hebben, dan verkrijgt men $c = 72{,}4$ millimeters, terwijl deze afstand in den kijker slechts 60,75 is. Werkelijk is de oogbuis niet geheel achromatisch, een verlenging van den afstand der 3[e] en 4[e] lens tot 72,4 millimeters zou zonder twijfel de laatste sporen van gekleurde randen doen verdwijnen.

Hoe men den rechtzienden kijker tot een omkeerenden kijker maken kan.

Schroeft men van de aardsche oogbuis het achtergedeelte, bevattende de 3[e] en 4[e] lens, af, en gebruikt men alleen dat gedeelte als oogbuis, dan heeft men een negatief oculair, dat wel niet naar de verhoudingen 3, 1, 2 (zie boven) is samengesteld, maar toch nagenoeg achromatisch is.

In onzen kijker zou de aan dit oculair equivalente lens een brandpuntsafstand hebben van

$$(f) = \frac{55{,}0 \times 50{,}8}{55{,}0 + 50{,}8 - 60{,}5} = 61{,}7.$$

De vergrooting zou dus bedragen:

$$-\frac{F}{(f)} = -\frac{494{.}75}{61{,}7} = -8{,}0 \text{ nagenoeg};$$

dat wil zeggen, een achtmalige met omgekeerd beeld. De afwijking wegens bolvormigheid is echter in zulk een oculair niet opgeheven, en de beelden zijn dus niet zoo scherp, als zij bij gelijke vergrooting met een zoogenaamd oculair van Huygens zich zouden vertoonen.

VIJFDE HOOFDSTUK.

BESCHRIJVING VAN DEN NAUTICAL ALMANAC.

I. DE KALENDER.

De Nautical Almanac is een sterrekundig jaarboek, waarin voor bepaalde oogenblikken de schijnbare plaatsen van de zon, de maan, eenige planeten en sommige vaste sterren aan den hemel zijn opgegeven.

Alle berekeningen geschieden te Londen, terwijl alle gegevens gelden voor de Lengte en Breedte van het observatorium te Greenwich. De oogenblikken waarvoor de gegevens berekend zijn, worden aan het hoofd der bladzijden vermeld.

Het voorbericht, waarin eenige opmerkingen omtrent de becijferingen en de voor sommige constanten aangenomen waarden, zal geen toelichting behoeven.

In het voorwerk vindt men op bladzijde VIII eenige voorname gegevens uit den Kalender, als:

a. HET GULDENGETAL.

Dit getal duidt den rang aan, dien het loopende jaar in een cyclus of een periode van 19 jaren inneemt. Deze periode, gulden cyclus genoemd, is het tijdvak, waarop dezelfde schijngestalten der maan op dezelfde datums vallen. Een dezer perioden ving één jaar vóór onze jaartelling aan en om dus het guldengetal voor het loopende jaar te vinden, voegt men bij het jaar de eenheid en deelt de som door 19; de rest der deeling is het gevraagde getal. Voor 1880 is dit dus $\frac{1880 + 1}{19} =$ $= 98 + 19$. Het guldengetal voor 1880 is alzoo 19.

b. DE EPACTA

duidt den ouderdom der maan aan op den 1sten Januari van elk jaar, of het aantal dagen, dat er op dien datum sedert de vorige nieuwe maan is verloopen. De Ouden vingen een nieuwen gulden cyclus aan als de maan op 1 Januari nieuw was. Is dus het guldengetal = 1, dan is de epacta = 0. Daar nu een tropisch jaar ongeveer 12 maansomloopen plus elf dagen bevat, en elke omloop omstreeks 30 dagen duurt, kan men de epacta op de volgende wijze vinden: men vermindert het guldengetal met de eenheid, vermenigvuldigt dit verschil met elf, en deelt het product door dertig. De rest der deeling zal de epacta zijn. Zij is dus voor 1880: $\frac{(19 - 1) \times 11}{30} = 6 + 18$; epacta = 18.

Aangezien echter de maansomloopen niet juist 30 dagen lang zijn, en bij deze berekening de schrikkeljaren niet in aanmerking genomen worden, zoodat de gulden cyclus hiervoor niet gewijzigd is, zal de op deze wijze gevonden epacta niet den juisten ouderdom der maan op 1 Januari aangeven, en dus niet overeenkomen met de opgave, daaromtrent later in den Almanac voorkomende. (Zie pagina IV van elke maand.)

c. DE ZONNECIRKEL.

Dit is een periode van 4 × 7 = 28 jaren, waarin de Zondagsletter weder met denzelfden dag overeenkomt. Zij begon 9 jaren vóór onze jaartelling; om dus den zonnecirkel voor zeker jaar te vinden, voegt men 9 bij het jaartal, deelt door 28 en vindt als rest der deeling het getal van den zonnecirkel. Voor 1880 vindt men dus $\frac{1889}{28} = 67 + 13$. Alzoo zonnecirkel 13.

d. DE ZONDAGSLETTER.

In den altijddurenden kalender worden de dagen der week door de eerste letters van het alphabeth, A, B, C, D, E, F en G aangeduid. Vangt b. v. het jaar met een Dinsdag aan, dan ontvangt die dag de letter A en de letter F, met den Zondag overeenkomende, heet de Zondagsletter. Deze kalender, voor gewone jaren ingericht zijnde, ontbreekt er voor de schrikkeljaren een letter, en zal de Zondagsletter voor Februari in de daarop volgende maanden met den Maandag overeenkomen, waarom men aan de schrikkeljaren twee Zondagsletters geeft. Daar het gewone jaar 52 weken en één dag bevat, zoude, indien er geen schrikkeljaren bestonden, de Zondagsletter na 7 jaren weder dezelfde zijn, maar door de laatstgenoemden zal het daartoe benoodigde tijdvak grooter en wel 4 × 7 jaren moeten zijn. Het jaar 1880 met een

Donderdag aanvangende, heeft tot Zondagsletters D en C, terwijl voor 1881 de Zondagsletter B zal zijn, enz.

Laat men nu den zonnecirkel in het jaar 4714 v. Chr. aanvangen, dan zijn in 1880 verloopen 4714 + 1879 = 6593 jaren. Dit getal, door 28 gedeeld, heeft tot quotient 235 en 13 tot rest. Het jaar 1880 is dus het 13[de] jaar van den 236[sten] zonnecirkel. Men vindt dan ook in den Almanac, voor den zonnecirkel, dat getal 13 opgegeven.

e. DE ROMEINSCHE INDICTIE.

Dit is een periode van 15 jaren, die betrekking had op de inning van sommige belastingen in het Romeinsche rijk, ten tijde der Keizers. Zij begon in het jaar 312 na Chr. Om dus de Romeinsche indictie te vinden, trekt men van het jaartal 12 af en deelt door 15, de rest geeft ons het gevraagde. Voor 1880 is dus de Romeinsche indictie = 8.

f. DE JULIAANSCHE PERIODE.

Een tijdvak van 19 × 28 × 15 = 7980 jaren, waarin het guldengetal, de zonnecirkel en de Romeinsche indictie weder overeenkomen, heet de Juliaansche periode. In het jaar 4714 vóór Chr. waren zij gelijk 1 en er zijn dus van dat jaar tot 1880 verloopen 4714 + 1879 = 6593 jaren.

Hierop volgt een opgave van veranderlijke en onveranderlijke feestdagen enz., waarvan wij alleen noemen het Paaschfeest. Volgens de beslissing van het concilie van Nicea in 325, moet Paschen vallen op den eersten Zondag na de volle maan, die op den 20[sten] Maart volgt. Paschen kan dus nooit vóór 22 Maart of na 25 April plaats vinden.

Voor de eerstvolgende jaren zal de Paasch-Zondag vallen:
in 1880 op 28 Maart, in 1881 op 17 April, in 1882 op 9 April,
„ 1883 „ 25 Maart, „ 1884 „ 13 April, „ 1885 „ 5 April,
„ 1886 „ 25 April, „ 1887 „ 10 April, „ 1888 „ 1 April,
„ 1889 „ 21 April, „ 1890 „ 6 April, enz.

Een verklaring van de astronomische teekens, en van de verkortingen, die in den Almanac gebezigd worden, vindt daarna hare plaats, en wordt gevolgd door eenige sterrekundige opgaven, voor den zeeman van geen belang.

II. DE TIJD, WAARVOOR DE ALMANAK BEREKEND IS.

De grootheden, die in den almanak voorkomen, zijn opgegeven met betrekking tot het middelpunt der aarde, en gelden voor een bepaald oogenblik. Dat oogenblik is uitgedrukt in den tijd eener plaats, die onder

den eersten meridiaan ligt, en alzoo in den Nautical-almanac, in tijd te Greenwich.

Zooals wij weten, is de Lengte, in tijd uitgedrukt, het verschil in de uren van den dag aan boord en te Greenwich op hetzelfde volstrekte oogenblik. Verlangt men dus een grootheid, die in den almanak voorkomt, op zeker oogenblik te kennen, dan heeft men slechts te bepalen, hoe laat het op dat oogenblik te Greenwich is, en in den almanak de grootheid voor dien tijd op te zoeken.

De verschillende grootheden zijn in den almanak opgegeven voor den middelbaren middag te Greenwich, of voor tijdstippen van dien middag gerekend. De bedoelde grootheden gelden dus niet voor die plaats, maar voor een bepaald oogenblik aldaar en, zooals gezegd is, voor het middelpunt der aarde. Wij kunnen den lezer niet genoeg aanbevelen, zich met dit denkbeeid gemeenzaam te maken, omdat men zoo ligt geneigd is zich voor te stellen, dat bijv. de rechte-opklimming, omdat zij voor Greenwich gegeven is, een verandering moet ondergaan, als men zich ergens anders bevindt.

Dewijl de middelbare middag te Greenwich het aanvangspunt van de telling der uren is, welke tot den volgenden middag worden doorgeteld, zoo bestaat hierin een onderscheid met het burgerlijk gebruik, waarbij de datum te middernacht, d. i. 12^u vroeger begint. De sterre- of zeevaartkundige dag, aldus genoemd ter onderscheiding van den burgerlijken, begint alzoo 12^u na dezen, zoodat b. v. 12^u zeevaartkundige tijd van den 10^den April, hetzelfde oogenblik beteekent, als 0^u burgerlijke tijd van den 11^den.

Bij de herleiding van burgerlijken tot zeevaartkundigen tijd, heeft men dus in acht te nemen, dat voor een oogenblik in den namiddag, de datum en de uren van den dag overanderd blijven, terwijl daarentegen de datum met de éénheid verminderd, en het aantal uren met 12 vermeerderd moet worden, als het een oogenblik des voormiddags geldt. Alzoo is

4 Mei te 6^u des avonds burg. tijd = 4 Mei 6^u zeevaartk. tijd

en

4 Mei te 6^u des morgens burg. tijd = 3 Mei 18^u zeevaartk. tijd.

Omgekeerd blijven, bij de herleiding van zeevaartkundigen tot burgerlijken tijd, de datum en de uren onveranderd, zoolang het aantal uren kleiner is dan 12. Is het bedoelde aantal echter grooter, dan vermindert men dat met 12 en verkrijgt zoodoende den tijd des voormiddags van den volgenden datum. Zoo is

14 Juni te 8^u zeevaartk. tijd = 14 Juni te 8^u des avonds burg. tijd,

doch

14 Juni te 20^u zeevaartk. tijd = 15 Juni te 8^u des morgens burg. tijd.

Ziehier tot verduidelijking de bedoelde overeenkomst nader aangewezen:

burgerlijke tijd	zeevaartkundige tijd
middag of 12^u van den 7^{den} April	komt overeen met 7 April te 0^u
des avonds 7^u „ „ 7^{den} „	„ „ „ 7 „ „ 7^u
des nachts 12^u „ „ 7^{den} „ } of 0^u „ „ 8sten „	„ „ „ 7 „ „ 12^u
des morgens 6^u „ „ 8sten „	„ „ „ 7 „ „ 18^u

zeevaartkundige tijd		burgerlijke tijd
4 Juni te 0^u	komt overeen met	4 Juni des middags te 12^u
4 „ „ 6^u	„ „ „	4 „ „ namiddags, 6^u
4 „ „ 12^u	„ „ „	5 „ middernacht
4 „ „ 18^u	„ „ „	5 „ des morgens „ 6^u.

III. BEPALING VAN DEN TIJD TE GREENWICH VOOR ZEKER OOGENBLIK AAN BOORD.

De zeevaartkundige tijd, dien wij bezigen, wordt bepaald door den uurhoek der zon, uitgedrukt in waren of middelbaren tijd, bewesten den meridiaan der plaats, waar men zich bevindt, doorgeteld tot 24^u.

Zij in fig. 103 PQ de equator, G de meridiaan van Greenwich, A de meridiaan van het schip en Z de zon, dan is GB de maat van den uurhoek der zon, ten opzichte van den meridiaan van Greenwich of van den tijd te Greenwich, en AB die van den tijd aan boord, terwijl GA de W.Lengte der plaats voorstelt.

Nu is

$$GB = AB + AG$$

of

tijd te Greenwich = tijd aan boord + W.Lengte in tijd.

Ligt de plaats A', fig. 103, daarentegen op O.Lengte, dan is

$$GB = A'B - A'G$$

of

tijd te Greenwich = tijd aan boord — O.Lengte in tijd.

Men verkrijgt alzoo den tijd te Greenwich, door de Lengte, in tijd uitgedrukt, in boven bedoelden zin op den tijd aan boord toe te passen, en wel altijd uitgedrukt in dezelfde soort, als, waren tijd, middelbaren tijd of sterretijd, naar gelang de tijd aan boord ware tijd, middelbare tijd of sterretijd is. Het Lengteverschil in graden wordt namelijk altijd, door deeling met 15, tot uren herleid, onverschillig of die uren tot waren tijd, tot middelbaren tijd of tot sterretijd behooren, of ook tot maanstijd, zoo deze in gebruik was, omdat de ware en de middelbare

zon, een ster of de maan, immer 360° afleggen in 24 uren. De duur van deze uren is verschillend, niet het aantal. Iets anders is het, wanneer men een tijdvak, dat in een bepaalde soort van uren is uitgedrukt, wil uitdrukken in een andere soort; dan moet het aantal veranderen.

Is men op O.Lengte, dan kan het gebeuren, dat de Lengte in tijd grooter is dan de tijd aan boord. In dat geval vermeerdert men den tijd aan boord met 24^u, ten einde de aftrekking mogelijk te maken en rekent zich een dag vroeger.

Voorbeeld. Den 14^{den} November, des namiddags te 4^{u}6^{m}15^s middelbaren tijd aan boord, zijnde op 20°10′15″ W.L., vraagt men den middelbaren tijd te Greenwich.

W.Lengte = 20°10′15″
in tijd = 1^{u}20^{m}41^s
14 Nov. middelb. tijd a/b = 4^u 6^{m}15^s
14 Nov. middelb. tijd Greenwich = 5^{u}26^{m}56^s.

Voorbeeld. Den 3^{den} Januari, des morgens te 8^{u}6^{m}20^s waren tijd aan boord, zijnde op 12°13′40″ W.L., vraagt men den waren tijd te Greenwich.

W.Lengte = 12°13′40″
in tijd = 0^{u}48^{m}54^s,6
2 Jan. ware tijd a/b = 20^u 6^{m}20^s
2 Jan. ware tijd Greenwich = 21^{u}55^{m}14^s,6.

Voorbeeld. Den 4^{den} April, des morgens te 9^{u}10^{m}17^s middelbaren tijd aan boord, zijnde op 140°8′27″ W.L., vraagt men den middelbaren tijd te Greenwich.

W.Lengte = 140° 8′27″
in tijd = 9^{u}20^{m}33^s,8
3 April middelb. tijd a/b = 21^{u}10^{m}17^s
3 April middelb. tijd Greenwich = 30^{u}30^{m}50^s,8

of

4 April middelb. tijd Greenwich = 6^{u}30^{m}50^s,8.

Voorbeeld. Den 7^{den} Juni, des namiddags te 4^{u}10^{m}15^s middelbaren tijd aan boord, zijnde op 20°17′40″ O.L. vraagt men den middelbaren tijd te Greenwich.

O.Lengte = 20°17′40″
in tijd = 1^{u}21^{m}10^s,7
7 Juni middelb. tijd a/b = 4^{u}10^{m}15^s
7 Juni middelb. tijd Greenwich = 2^{u}49^m 4^s,3.

Voorbeeld. Den 15^{den} Augustus, des morgens te 7^{u}20^{m}30^s middel-

baren tijd aan boord, zijnde op $40°10'20''$ O.L., vraagt men den middelbaren tijd te Greenwich.

O.Lengte $= 40°10'20''$
in tijd $= 2^u 40^m 41^s,4$
14 Aug. middelb. tijd a/b $= 19^u 20^m 30^s$
14 Aug. middelb. tijd Greenwich $= 16^u 39^m 48^s,6$.

Voorbeeld. Den 14[den] September, des namiddags te $2^u 10^m 12^s$ middelbaren tijd aan boord, zijnde op $90°20'48''$ O.L., vraagt men den tijd te Greenwich.

O.Lengte $= 90°21'48''$
in tijd $= 6^u\ 1^m 23^s,2$
14 Sept. middelb. tijd a/b $= 2^u 10^m 12^s$

of

13 Sept middelb. tijd a/b $= 26^u 10^m 12^s$
13 Sept. middelb. tijd Greenwich $= 20^u\ 8^m 48^s,8$.

Dewijl de Lengte Oost- en Westwaarts van Greenwich tot 180° wordt geteld, zoo behoort men in aanmerking te nemen, indien dit punt wordt overschreden, en de Lengte alzoo van benaming verandert, op welke wijze de Lengte, waarop men zich dan bevindt, is behaald, ten einde geen vergissing in den datum te begaan.

Denken wij ons namelijk twee personen *A* en *B*, die gelijktijdig van Greenwich vertrekken, doch waarvan de eerste Oostwaarts, de andere daarentegen Westwaarts zeilt, dan zal, wanneer zij elkander op 180° Lengte ontmoeten, *A* 12^u op den tijd te Greenwich vooruit, *B* daarentegen 12^u op dien tijd na zijn, en zullen zij dus onderling in de tijdrekening juist 24^u of 1 dag verschillen, zoodat, indien het b. v. op dat oogenblik te Greenwich is 0^u van den 3[den] Januari,

de overeenkomstige tijd aan boord van *A* 3 Jan. te 12^u
„ „ „ „ „ „ *B* 2 „ „ 12^u

zal zijn.

Blijkbaar zal *A*, indien hij zich op 180° W.Lengte wil rekenen, zijne dagteekening moeten veranderen van den 3[den] op den 2[den]; en omgekeerd *B* die van den 2[den] op den 3[den], indien de laatstgenoemde zich op 180° O.Lengte beschouwt.

Stellen wij verder, dat *A* en *B* elkander ontmoeten op 165° O.Lengte, en dat de tijd aan boord van *A* is 6^u van den 3[den] Jan., dan zou *B*, indien hij zijne Westwaarts behaalde Lengte had doorgeteld, op dat oogenblik tellen 2 Jan. te 6^u. Wij hebben dan voor den overeenkomstigen tijd te Greenwich:

voor *B*		voor *A*	
W.Lengte	$= 195°$	O.Lengte	$= 165°$
in tijd	$= 13^u$	in tijd	$= 11^u$
2 Jan. tijd a/b	$= 6^u$	3 Jan. tijd a/b	$= 6^u$
2 Jan. tijd Greenwich	$= 19^u$	2 Jan. tijd Greenwich	$= 19^u$.

Telt echter *B*, op 180° gekomen, zijne W.Lengte niet door, maar rekent hij zich op O.Lengte en verandert hij zijn datum in den 3den, dan komt weder:

tijd Greenwich = 19^u van den 2den Jan.

Heeft de ontmoeting op 165° W.Lengte plaats, en is de tijd aan boord van *B* 2 Jan. te 6^u, dan telt *A*, indien hij zijn Oostwaarts behaalde Lengte doorrekent, 3 Jan. Voor den overeenkomstigen tijd te Greenwich vinden wij dan:

voor *B*		voor *A*	
W.Lengte =	165°	O.Lengte =	195°
in tijd =	11^u	in tijd =	13^u
2 Jan. tijd *a/b* =	6^u	3 Jan. tijd *a/b* =	6^u
2 Jan. tijd Greenwich =	17^u	2 Jan. tijd Greenwich =	17^u.

Verandert *A* echter, op 180° Lengte gekomen, zijne dagteekening en rekent hij zich één dag vroeger, terwijl hij zich op W.Lengte beschouwt, dan komt als te voren:

tijd Greenwich = 17^u van den 2den Jan. (*)

Het kan somwijlen gebeuren, dat men voor een gegeven oogenblik aan boord verlangt te weten, hoe laat het is op een andere plaats, waarvan de Lengte bekend is. Dit vraagstuk, dat als een bijzonder geval van het voorgaande is aan te merken, wordt opgelost door in de plaats van de Lengte, het verschil in Lengte der beide plaatsen, tot tijd gebracht, te bezigen. Hierbij houde men in het oog, dat Oostelijker gelegen plaatsen den tijd van den dag later, Westelijker gelegen daarentegen dien tijd vroeger hebben dan aan boord.

Voorbeeld. Een schip bevindt zich den 3den Juni op 142°10'30" O.L. des voormiddags te $8^u9^m41^s$. Men vraagt, hoe laat het op dat oogenblik te Batavia is.

O.L. van het schip =	142°10'30"
O.L. Batavia =	106°48' 8"
het schip Oostelijk van Batavia =	35°22'22"
in tijd =	$2^u21^m29^s,5$
2 Juni tijd aan boord =	$20^u\ 9^m41^s$
2 Juni tijd Batavia =	$17^u48^m11^s,5$

of

3 Juni, des morgens te $5^u48^m11^s,5$.

(1) Feitelijk echter is de lijn van afscheiding tusschen twee op elkander volgende datums niet de meridiaan 180° van Greenwich verwijderd, maar een kromme lijn die van straat Behring Zuidwaarts en verder beoosten den O. I. Archipel loopt.

IV. HET VINDEN VAN DE GROOTHEDEN UIT DEN ALMANAK VOOR EEN BEPAALD OOGENBLIK.

In den Almanac zijn aan elke maand achttien bladzijden gewijd, overeenkomstige opgaven omtrent zon en maan bevattende, en die door Romeinsche cijfers van I tot XVIII zijn aangeduid, terwijl bovendien de Almanac een doorgaande pagineering bevat.

Pagina 1 van den Almanac bevat de volgende opgaven om de 10 dagen, op den middelbaren middag te Greenwich, dus als de denkbeeldige middelbare zon daar den meridiaan passeert:

De helling der ecliptica, of de schijnbare helling van het vlak der ecliptica op dat van den equator.

De horizontale parallaxis der zon, of de hoek, waaronder de equator-straal der aarde, uit het middelpunt der zon, gezien zal worden.

De zons-aberratie, of het verschil tusschen de ware en de schijnbare lengte der zon. Deze opgave dient om, zoo noodig, de ware lengte der zon te vinden, waartoe men slechts de aberratie heeft op te tellen bij de schijnbare lengte.

De praecessie in lengte, of de teruggaande beweging van het punt Aries over de ecliptica. Zij dient om een lengte, die van den middelbaren equinox is afgerekend, van den eenen datum tot een anderen te herleiden.

De vereffening der equinoxen in Lengte en in rechte-opklimming, zijnde het verschil tusschen de ware en de middelbare plaats van het punt Aries, op de ecliptica en op den equator.

De middelbare Lengte van den maans klimmenden knoop.

De beide eerste opgaven hebben ook voor zeevaartkundige berekeningen somtijds eenig nut, hoewel zelden, daar wij gewoonlijk de helling der ecliptica en de zons-horizontale parallaxis als constant aannemen.

BLADZIJDE I VAN ELKE MAAND

bevat gegevens voor den schijnbaren middag, of het oogenblik, dat het middelpunt der zon in den meridiaan van Greenwich is. Wij zeggen schijnbaren middag, omdat de gegevens aangedaan zijn met aberratie.

De eerste kolom bevat de dagen der week, daarop volgen de dagen der maand, waarbij, voor het gemak bij het interpoleeren, de waarden die het eerst in rangorde volgen, opgegeven zijn aan den voet van de bladzijde. Zoo worden de gegevens van 1 April ook gevonden naast 32 Maart.

De derde kolom bevat de zons rechte-opklimming, hier aangedaan met aberratie, en afgeteld van den waren equinox, met de verandering in één uur er naast.

Hierop volgt de zons-declinatie, met de verandering per uur.

Die uursveranderingen zijn opgegeven, ten einde de herleiding der grootheden van den waren middag tot een ander oogenblik gemakkelijk te maken.

Het is de uursverandering op den middag, en daar die verandering den eenen dag verschilt met den anderen, zal zij herleid moeten worden tot het oogenblik, midden tusschen den middag en den tijd waarop de Æ of declinatie gevraagd wordt. B. v. Er wordt gevraagd:

De ⊙ declinatie op den 16 Januari 18. . op den waren middag op 60° W.L. van Greenwich.

Nu is de Lengte in tijd $= 4^u$ en daar zij West is, zal de met den middag aldaar overeen komende tijd Greenwich zijn, den 16^{den} ten 4^u.

De uursverandering in declinatie is 16 Januari $0^u = 28'',83$
en „ „ „ „ 17 „ $= 29'',82$,
dus $24^u : 2^u = 0'',99 : x$. $x = 0'',08$. Midden tusschen 16 Januari 0^u en 4^u is de uursverandering in declinatie dus $= -28'',91$, in 4^u zal dus

de declinatie veranderen	$-1'55'',6$
„ „ 16 Januari 0^u	$= 20^0 54' 25'',6$ Z.
de gevraagde declinatie	$= 20^0 52' 30'',0$ Z.

Bij de gewone vraagstukken der stuurmanskunst, kan men echter gerust de uursverandering op den middag bezigen, en die beschouwen als gelijk aan de uursverandering op het oogenblik, midden tusschen den middag en den tijd van waarneming.

De grootste verandering in rechte-opklimming der zon is in December $= 4^m 26^s$ in 24^u, de kleinste bedraagt $3^m 35^s$ per etmaal en valt in September voor.

De grootste declinatie-verandering heeft plaats in Maart en September, en bedraagt dan ongeveer één boogminuut per uur. Zij verandert het minst in Juni en December.

De sterretijd van doorgang der zons halve middellijn door den meridiaan, dient voor sterrekundige berekeningen, om een waarneming van den doorgang van een der randen van de zon, te herleiden tot den doorgang van het middelpunt.

De tijdvereffening, of het verschil tusschen waren en middelbaren tijd, is hier opgegeven met het teeken, waarmede zij op den waren tijd moet worden toegepast, daar het den afstand van de middelbare zon tot den meridiaan aanduidt op den waren middag te Greenwich. Het teeken is aan het hoofd der kolom opgegeven. Zooals in Hoofdstuk III, bladz. 203 is opgemerkt, verandert de tijdvereffening vier malen per jaar van teeken, en wel in April, Juni, Augustus en December; dit wordt aan het hoofd der kolom aangewezen door het voorschrift $\frac{\text{added to}}{\text{substracted from}}$; tusschen de beide dagen, die door een dergelijke streep gescheiden zijn,

zal de verandering van teeken plaats vinden. Zoo b. v. op Pag. I der maand April tusschen 15 en 16 April. Vóór dien tijd moet dus de tijdvereffening bijgeteld worden bij den waren tijd, om middelbaren tijd te verkrijgen; na dien tijd moet zij van den waren tijd worden afgetrokken. Omtrent de verandering der tijdvereffening in één uur, in de laatste kolom dezer bladzijde voorkomende, geldt hetzelfde, wat boven over de uursverandering der Æ en declinatie gezegd is. De tijdvereffening verandert hoogstens 30^s in 24^u, en wel in December.

BLADZIJDE II VAN IEDERE MAAND.

Hier gelden de opgaven voor den middelbaren middag te Greenwich, of voor het oogenblik, dat de denkbeeldige middelbare zon met haar middelpunt den meridiaan van Greenwich passeert.

De beide eerste kolommen bevatten weder de dagen der week en de dagen der maand.

Daarop volgen de zons rechte-opklimming en declinatie, welke de schijnbare plaats van de ware zon op den middelbaren middag te Greenwich aangeven, ten opzichte van den equator. Op dit oogenblik zal natuurlijk de uurhoek der ware zon gelijk zijn aan de tijdvereffening. Hierbij zijn de uursveranderingen niet opgegeven; men kan in de zeevaartkundige berekeningen hiervoor, zonder vrees voor fouten, bezigen de uursveranderingen van Pag. I.

Ook kan men de Æ en declinatie voor een anderen middelbaren tijd en een andere plaats vinden, door een evenredig verschil op de gegevens toe te passen, zooals wij ze in den Almanac vinden ten 0^u middelb. tijd.

B. v. vrage de Æ en declinatie den 2 Maart 18. . ten 9^u20^m V.M. burgerlijken tijd, op 98° W.L. van Greenwich.

Zeevaartkundige tijd a/b den 1e Maart =	21^u20^m
W.L. in tijd =	6^u32^m
Middelb. tijd Greenwich 2 Maart =	3^u52^m

Voor dat oogenblik moeten dus de Æ en declinatie gevonden worden.

Het verschil tusschen de rechte-opklimmingen op 2 en 3 Maart is $3^m43^s,94$, d. i. in 24 uren, volgende op 2 Maart, is de Æ dit bedrag toegenomen; zij zal dus een evenredig deel van die vermeerdering hebben ontvangen voor 3^u52^m, en men vindt de grootte daarvan door de evenredigheid:

$$24^u : 3^u52^m = 3^m43^s,94 : x, \text{ waaruit } x = 36^s,08.$$

De Æ den 2 Maart ten 0^u middelb. tijd Grw. vindt men in den Almanac =	$22^u51^m43^s,97$
verandering in 3^u52^m =	$36^s,08$
dus: ☉ Æ 2 Maart ten 9^u20^m V.M. op 98° W.L. =	$22^u52^m20^s,05$

Evenzoo vindt men: tusschen 2 en 3 Maart in 24^u decl. verandering $= -22'55'',7$, waaruit weder de evenredigheid $24^u : 3^u52^m = 22'55'',7 : x$. $x = 3'41'',6$.

In den Almanac is gegeven ☉ decl. te 0^u middelb. tijd Greenw. 2 Maart $= 7°15'25'',6$ Z.
verandering in $3^u52^m = -3'41'',6$
☉ decl. op den gevraagden tijd $= 7°11'44''$ Z.

De verbetering voor tweede verschillen zou de Æ met $0^s,03$ en de declinatie met $0'',4$ vermeerderen.

De zons halve middellijn is de hoek, gevormd in het middelpunt der aarde door de halve middellijn der zon. Zij dient om de waarnemingen van een der randen van de zon tot het middelpunt te herleiden; zooals bij het meten van zons onder- of bovenrandshoogten, van zons- en maansafstanden, enz.

De tijdvereffening op den middelbaren middag dient in het bijzonder, om middelbaren tijd tot waren tijd te herleiden, waartoe het teeken, waarmede zij op den middelbaren tijd moet worden toegepast, weder aan het hoofd der kolom is opgegeven. Men kan de tijdvereffening voor een bepaald oogenblik vinden, door gebruik te maken van de uursverandering op pag. I voorkomende, of door weder een evenredig verschil voor den verloopen tijd, sedert den middelbaren middag te Greenwich, toe te passen.

Zij b. v. gevraagd de tijdvereffening ten 11^u V.M. burgerlijken tijd van 16 April op 15° O.L.

11^u V.M. burgerlijke tijd 16 April $= 23^u$ zeevaartk. tijd van 15 April
O.Lengte in tijd $= 1^u$
Midd. tijd Greenwich $= 22^u$ op 15 April.

In den Almanac vindt men tijdvereff. 16 April 0^u midd. tijd Grw. $= 0^m13^s,38 +$ M. T.
„ 15 „ „ „ $= 0^m\ 1^s,36 -$ M. T.
verschil in $24^u = 0^m14^s,74$

Wij nemen hier de som der beide grootheden, omdat in dit tijdvak de tijdvereffening is afgenomen tot 0, en toen weder aangroeide. Om nu de tijdvereffening te vinden op het gevraagde oogenblik, hebben wij weder de evenredigheid:

$$24_u : 22^u = 14^s,74 : x \qquad x = 13^s,51.$$

Dit nu is grooter dan $1^s,36$ of de tijdvereffening op 15 April, toen zij afnam. De tijdvereffen. ten 11^u V.M. op 15° O.L. 16 April is dus $= 13^s,51 - 1^s,36$
$= 12^s,15$ en moet worden opgeteld bij den middelbaren tijd.

De laatste kolom van pag. II bevat den sterretijd op den middelbaren middag, zijnde de uurhoek van het punt Aries, op het oogenblik, dat de denkbeeldige middelbare zon met haar middelpunt in den meri-

diaan van Greenwich is. Daar van het punt ♈ de Æ wordt afgeteld, is het ook de Æ van de middelbare zon op dat oogenblik. Het is duidelijk, dat dus de sterretijd toeneemt van 0^u tot 24^u, en dat de regelmatige verandering per uur, zie pag. 207, Hoofdstuk III, $= 9^s,8565$ is. De gegevens in deze kolom worden ook gevonden, door op de ware zons Æ, in kolom 3 van pag. II gegeven, de tijdvereffening toe te passen, met het teeken, waarmede zij moet worden toegepast op den middelbaren tijd.

Immers:

middelb. ⊙ Æ + middelb. ⊙ uurh. = ware ⊙ Æ + ware ⊙ uurh.
middelb. ⊙ uurh. — ware ⊙ uurh. = ware ⊙ Æ — middelb. ⊙ Æ
M. tijd — *WT* = W ⊙ Æ — M ⊙ Æ
tijdv. = W ⊙ Æ — M ⊙ Æ.

Is nu middelb. tijd — tijdv. = *WT* dan is ook ware ⊙ Æ — tijdv. = *M* ⊙ Æ
en is middelb. tijd + tijdv. = *WT* „ „ „ ware ⊙ Æ + tijdv. = *M* ⊙ Æ.

Op deze wijze werd vroeger, als de Æ der middelbare ⊙ noodig was bij de zeevaartkundige vraagstukken, deze altijd bij ons gezocht ten 0^u MT. Greenwich. Nu de laatste kolom van pag. II ons dagelijks den sterretijd ten 0^u Greenwich geeft, kunnen wij die bezigen in alle gevallen, waarin middelbare tijd moet worden afgeleid uit de waarnemingen, en tevens, om den middelbaren tijd op de eene plaats tot sterretijd op een andere plaats te herleiden en omgekeerd.

Hiertoe dienen de herleidingstafels, voorkomende in den Almanac op pag. 482—485, die tot in 4 en 5 decimalen zijn berekend, en de tafels XXII en XXIII van BROUWER, waar ze tot 2 decimalen, dus voor den zeeman voldoende nauwkeurig, zijn opgegeven.

B. v. Vrage den sterretijd die overeenkomt met $1^u20^m30^s$ MT. te Amsterdam, op 20 September 18. .

O.L. van Amsterdam = 4°53′26″ of, in tijd = $0^u19^m33^s,7$
MT. te Amsterdam = $1^u20^m30^s$
MT. te Greenwich = $1^u\ 0^m56^s,3$.

Nu vinden wij in den Alm.^c. 20 Sept. 0^u MT. Grw. Sid. Time = $11^u56^m58^s,41$
in 1^u △ Sid. time + $9^s,86$ dus in $1^u,016$ = $10^s,01$
Sid. time of Midd. ⊙ Æ gecorr. = $11^u57^m\ 8^s,42$.

De middelb. ⊙ Æ op 20 Sept. $1^u20^m30^s$ MT. te Amst. is dus = $11^u57^m\ 8^s,42$
volgens pag. 482 en 483 Almanac is $1^u\ 0^m\ 0^s$ MT = $1^u\ 0^m\ 9^s,86$
is met verwaarloozing der laatste decimalen $20^m\ 0^s$ „ = $20^m\ 3^s,28$
30^s „ = $30^s,08$
dus 20 September te Amsterdam ten $1^u20^m30^s$ MT. is het $13^u17^m51^s,64$ sterretijd

Moet omgekeerd sterretijd herleid worden tot MT., dan kan b. v. de vraag gesteld worden als volgt: Welke middelbare tijd Greenwich stemt overeen met 14^u sterretijd te Batavia, op 20 Sept. 18. .

O.L. Batavia = 106°48′8″ = $7^u7^m12^s,5$ O.L. in tijd.

In den Almanac vindt men 20 Sept. 0^u MT. Grw. Sid. time $= 11^u 56^m 58^s,41$
Δ midd. $\odot$ Æ in $1^u = + 9^s,86$ dus in $- 7^u,12$ Δ Sid. time $= \quad - 1^m 10^s,2$
20 September 0^u MT. Batavia was sterretijd $= 11^u 55^m 48^s,21$.
De sterretijd Batavia $= 14^u$
is verloopen sedert 0^u MT. $= \ 2^u \ 4^m 11^s,79$ sterretijd

pag 484 en 485 geven $2^u 0^m \ 0^s$ sterretijd $= 1^u 59^m 40^s,34$ middelbare tijd
$4^m \ 0^s$ „ $= 3^m 59^s,34$ „
11^s „ $= 10^s,97$ „
$0^s,79$ „ $= 0^s,79$ „
dus $2^u 4^m 11^s,79$ sterretijd $= 2^u \ 3^m 51^s,44$ middelbare tijd.
O.Lengte Batavia $= 7^u \ 7^m 12^s,5$
Middelb. tijd Greenw. $= 18^u 56^m 38^s,94$ van den 19 Sept.

Wij kunnen deze vraag ook oplossen door de opgaven in de 5ᵉ kolom van pag. III, waar de middelbare tijd wordt opgegeven op het oogenblik, dat ♈ den meridiaan van Greenwich passeert, en dus een nieuw sterre-etmaal begint. Op pag. III vindt men dus de middelb. tijd ten 0^u sterretijd,

te Greenw. op den 19 September $= 12^u \ 4^m 59^s,05$
$9^s,86 \times 7,12 = \quad 1^m 10^s,2$
Middelb. tijd ten 0^u sterretijd Batavia $= 12^u \ 6^m \ 9^s,25$ van 19 Sept.
14^u sterretijd zie pag 484 Almanac $= 13^u 57^m 42^s,39$
Middelb. tijd te Batavia 20 Sept. ten
14^u sterretijd $= \ 2^u \ 3^m 51^s,6$ als boven
O.Lengte Batavia $= \ 7^u \ 7^m 12^s,5$
middelb. tijd Greenwich 19 September $= 18^u 56^m 39^s,1$.

BLADZIJDE III VAN ELKE MAAND

bevat bovenaan de vermelding, dat de ephemeriden hier gegeven zijn voor den middelbaren tijd te Greenwich.

De eerste kolom behelst de dagen der maand.

De tweede en derde kolom geven ons de ware zons Lengte en Breedte op den middelbaren middag te Greenwich; de Lengte is weder aangedaan met aberratie.

In de vierde kolom is de logarithmus van den voerstraal der aarde gegeven, zijnde de logarithmus van den afstand tusschen de middelpunten van zon en aarde op den middelbaren middag te Greenwich, waarbij de halve groote as der loopbaan als eenheid is aangenomen.

De middelbare tijd van doorgang van het punt Aries komt in de vijfde kolom voor, en geeft den afstand van de middelbare zon buiten den meridiaan, op het oogenblik, dat het snijpunt van equator en ecliptica in den meridiaan van Greenwich is, en dat dus een nieuwe sterredag begint. Daar nu de afstand van het punt ♈ tot den meridiaan, op het oogenblik, dat de middelbare zon in den meridiaan is, sterretijd op den middelbaren middag genoemd wordt, zou ook

aan den in deze kolom gegeven tijd den naam van middelbaren tijd ten 0^u sterretijd gegeven mogen worden. Hoe de gegevens uit deze kolom gebruikt kunnen worden, is boven reeds aangetoond bij de herleiding van sterretijd tot middelbaren tijd.

De halve middellijn en de horizontale parallaxis der maan zijn om de 12 uren opgegeven, en wel op den middelbaren middag en te middernacht te Greenwich, omdat deze grootheden, door den kleineren afstand waarop de maan zich van ons bevindt, aan belangrijke veranderingen onderhevig zijn.

De halve middellijn der maan is de hoek, waaronder men den straal der maan zou zien, uit het middelpunt der aarde.

De horizontale parallaxis is de hoek, waaronder de equator-straal der aarde gezien wordt uit het middelpunt der maan. Beide zijn ons noodig om randshoogten, van het oppervlak der aarde waargenomen, te herleiden tot middelpunts-hoogten, ten opzichte van het middelpunt der aarde. Men bedenke steeds, dat de hier gegeven horizontale parallaxis de equatoriale horizontale parallaxis is, en dus, zooals wij bij de hoogte-verbeteringen zullen aantoonen, nog een correctie voor de Breedte (Tafel XVIII BROUWER) noodig heeft, om tot hor. par. herleid te worden.

Bij de vraagstukken der zeevaartkunde kan men de gegevens als eenparig met den tijd veranderende aannemen, gedurende den tijd, verloopen tusschen de twee opvolgende opgaven. Alleen de afstanden, zie later, zijn hiervan uitgezonderd. Om dus b. v. de halve middellijn en equatoriale horizontale parallaxis te vinden den 22 September 's voormiddags 10^u MT. te Nieuwe Diep, heeft men:

middelbare tijd *a/b* 21 September = 22^u
O.Lengte in tijd = $0^u 19^m 6^s,4$
middelb. tijd Greenwich 21 Sept. = $21^u 40^m 53^s,6$ = $21^u,68$ of — $2^u,32$ van 22 Sept.

In den Almanac vindt men:

21 September 12^u ☾ ½ midd.	= 15′56″,1	*E.H.P.* = 58′22″,9
22 „ 0^u „	= 16′ 4″,0	*E.H.P.* = 58′51″,8
uit de evenredigheden 12^u : — 2^u,32	= 7″,9 : x	12^u : — 2^u,32 = 28″,9 : x
volgt	x = — 1″,53	x = — 5″,58
de gevraagde grootheden zijn dus: ☾ ½ midd.	= 16′2″,5	*E.H.P.* = 58′46″,2.

BLADZIJDE IV VAN ELKE MAAND

bevat opgaven omtrent de Maan, en geeft, na de dagen der maand, de Lengte en Breedte der Maan op den Middelbaren middag en te middernacht van Greenwich, gezien uit het middelpunt der Aarde. Zij zijn afgeleid uit de maantafels van HANSEN en vormen den grondslag der verdere berekeningen de maan betreffende. Bij het zoeken

der ☾ Lengte en Breedte voor andere oogenblikken dan die welke in den Almanac zijn gegeven, moet men den invloed van 2de, 3de en 4de verschillen in rekening brengen.

De Maans-ouderdom op den middelbaren middag is de tijd die verloopen is sedert zon en maan in conjunctie waren, of sedert hun lengte-verschil = 0 was, uitgedrukt in dagen en tiendedeelen van dagen.

De maansdoorgang door den meridiaan. De linker kolom duidt den middelbaren tijd aan, waarop de maan met haar middelpunt den bovenmeridiaan van Greenwich passeert, en dient bij de breedtebepaling door waarneming van de maanshoogte in den meridiaan.

De tijd van benedensten doorgang door den meridiaan is noodig bij de berekening der watergetijden.

Verlangt men den doorgangstijd voor een anderen meridiaan te kennen, dan begaat men lichtelijk de fout van op den doorgangstijd uit den almanac de Lengte in tijd toe te passen. Men kan zich daarvoor wachten, door in het oog te houden, dat de genoemde tijd, binnen zekere grenzen, de tijd van doorgang is, waar men zich ook moge bevinden. Had namelijk de maan dezelfde snelheid als de middelbare zon, dan ware de dagelijksche opgave van den doorgangstijd overbodig; was zij eenmaal bijv. te 8^u door den meridiaan van Greenwich gegaan, dan zou zij aldaar, en voor elke andere plaats te 8^u middelbaren tijd der plaats, door den meridiaan gaan, even als de ware zon overal te 12^u waren tijd, den meridiaan voorbijgaat.

Men bespeurt echter aan de opgaven in den almanac, dat zulks met de maan niet het geval is; deze heeft zooals wij weten, een eigen beweging van het Westen naar het Oosten, die ongeveer 13maal sneller is dan die van de zon, en komt daardoor elken dag ongeveer 50^m later in den meridiaan van Greenwich dan den vorigen. Nu is het duidelijk, dat alle meridianen, bij de dagelijksche beweging der aarde, den invloed dier verplaatsing in mindere of meerdere mate moeten ondervinden. Is b. v. de maan, tijdens een geheele omwenteling van de aarde 50^m teruggegaan, dan zal zij, bijaldien men de bedoelde vertraging als regelmatig beschouwt, bij een halve omwenteling 25^m verplaatst zijn, en derhalve 25^m later dan te Greenwich door den meridiaan der plaats gaan, die een Lengteverschil met Greenwich heeft van $180°$. Voor een andere plaats, gelegen op een Wester-Lengte φ, zal dan de vertraging gevonden worden door de evenredigheid:

$$360° : \varphi = 50^m : \text{gevraagde vertraging.}$$

Dewijl de verplaatsing van de maan, in den loop eener maand, echter niet altijd even groot is, en het verschil maakt of de waarnemingsplaats op Ooster- dan wel op Wester-Lengte gelegen is, zoo moet hierop nog

worden acht gegeven. De navolgende beschouwing zal een en ander zooveel noodig toelichten en ons de wijze doen kennen, waarop in de verschillende gevallen gehandeld moet worden.

Vooronderstellen wij namelijk, dat men zich den 5^{den} Februari 18.. bevindt op 60° W.L., en den tijd van doorgang voor dien datum vraagt. Men vindt in den almanac de navolgende gegevens:

4	Februari doorgangstijd te	$8^u37^m,4$
5	„ „ „	$9^u37^m,8$
6	„ „ „	$10^u36^m,1$.

Dewijl men zich op Wester-Lengte bevindt, zoo zal de maan vroeger door den meridiaan van Greenwich gaan, dan door dien van de bedoelde plaats, en dewijl deze doorgang, ten opzichte van Greenwich gerekend, tusschen den 5^{den} en den 6^{den} plaats heeft, zoo zal men, om in dit geval de vertraging op dat tijdstip te kennen het verschil moeten nemen tusschen den doorgangstijd op den gegeven en dien op den volgenden datum.

Wij hebben dus:

5	Februari doorgangstijd te	$9^u37^m,8$
6	„ „ „	$10^u36^m,1$
	verschil —	$0^u58^m,3$

en voor de vertraging x, de evenredigheid:

$$360^0 : 60^0 = 58^m,3 : x$$

waaruit

$x =$	$9^m,72$
5 Februari doorgangstijd $=$	$9^u37^m,80$
Gevraagde doorgangstijd aan boord $=$	$9^u47^m,52$.

Bevindt men zich daarentegen op Ooster-Lengte, dan zal de maan den meridiaan der waarnemingsplaats vroeger bereiken dan dien van Greenwich. Neemt men dus weder den doorgangstijd op den 5^{den}, dan heeft de maan hare volle vertraging nog niet ondergaan, en de verbetering voor de Lengte zal van den doorgangstijd op den datum behooren afgetrokken te worden. Het oogenblik van den doorgang valt vroeger in; op den 5^{den} aan boord, is het te Greenwich nog niet zoo laat, en de vertraging behoort derhalve bepaald te worden, uit het verschil der doorgangstijden op den 4^{den} en den 5^{den}.

In bovenstaand voorbeeld is dan

5	Februari doorgangstijd te	$9^u37^m,8$
4	„ „ „	$8^u37^m,4$
	verschil $=$	$1^u\ 0^m,4 = 60^m,4$

en voor de vertraging y zullen wij de evenredigheid hebben:

$$360^0 : 60^0 = 60^m,4 : y$$

waaruit

$$y = 10^m,07$$

5 Februari doorgangstijd $= 9^u37^m,80$

Gevraagde doorgangstijd aan boord $= 9^u27^m,73$.

Trekt men al het bovenstaande te zamen, dan verkrijgt men den navolgenden regel:

Men neemt den doorgangstijd uit den almanac op den gegeven datum, en trekt daarvan af, op Ooster-Lengte zijnde, het evenredig gedeelte van het voorgaande verschil, doch voegt daarbij, op Wester-Lengte zijnde, het evenredig gedeelte van het volgende verschil.

Is de doorgangstijd grooter dan 12^u dan kan het gebeuren, dat men op deze wijze den doorgang verkrijgt voor een dag later dan den gevraagden. Dit ontstaat door het verschil tusschen den burgerlijken en den zeevaartkundigen dag. Vraagt men bijv. den tijd van doorgang op den 20sten Februari 1857, dan vindt men in den almanac:

20 Februari doorgang te $21^u36^m,4$,

Dit is, volgens burgerlijke rekening, den 21sten des voormiddags te $9^u36^m,4$ en alzoo niet het oogenblik op den gegeven datum. Dewijl deze omstandigheid over het algemeen plaats heeft, als de doorgangstijd grooter is dan 12^u, zoo zal men voor dit geval, den doorgangstijd van den vorigen datum moeten nemen.

Een andere regel, om den doorgangstijd der maan voor een gegeven datum aan boord te vinden, is de volgende: Men bepaalt op de gewone wijze hoe laat het te Greenwich is, te 0^u middelbaren tijd aan boord van den gegeven datum, en zoekt voor dat oogenblik, door interpolatie op de bekende manier, den doorgangstijd der maan uit den almanac, zooals met de rechte-opklimming, de declinatie, enz. geschiedt.

Passen wij dezen regel op het voorgaande voorbeeld toe, dan is

W.L. =	60^0	O.L. =	60^0
in tijd =	4^u	in tijd =	4^u
5 Febr. middelb. middag =	0^u	5 Febr. middelb. middag =	0^u
5 Febr. tijd Greenwich =	4^u	4 Febr. tijd Greenwich =	20^u
		of	
		5 Febr. tijd Greenwich =	-4^u.
5 Febr. doorgang te	$9^u37^m,8$ in $24^u + 58^m,3$		$9^u37^m,8$ in $24^u + 60^m,4$
voor 4^u	$9^m,72$	voor -4^k	$10^m,07$
Gevr. doorg. voor W.L. =	$9^u47^m,52$	Gevr. doorg. voor O.L. =	$9^u27^m,73$.

Het verband, dat er tusschen deze en de vorige manier bestaat, valt van zelf in het oog en zal geen toelichting behoeven.

Somtijds vindt men in een van de kolommen der maans-doorgangstijden 2 sterretjes, 'tgeen aanduidt, dat de maan dien dag niet den boven- of beneden-meridiaan van Greenwich passeert. Dit heeft eenmaal in elken maansomloopstijd plaats, en is een gevolg hiervan, dat een maansdag langer is dan een middelbare zonsdag, en wel gemiddeld 50 minuten langer.

BLADZIJDE V TOT XII VAN ELKE MAAND

geven de maans rechte opklimming en declinatie per uur, met de veranderingen in 10 minuten er naast. Voor de vraagstukken der zeevaartkunde kan men de Æ en declinatie voor een oogenblik, waarvoor ze niet in den Almanac gegeven zijn, vinden, door een evenredig gedeelte van dat verschil in 10 minuten in rekening te brengen voor het verschil tusschen den gegeven tijd en den naastbij komenden tijd, waarvoor de Æ en declinatie gegeven zijn. B. v.:

Men vraagt de ☾ Æ en declinatie op 20 October 1880 ten 3^u20^m MT. a/b op 20°30′ W.L.?

M. T. a/b = 3^u20^m	In den Almanac vindt men:
W.L. in tijd = 1^u22^m	20 Oct. 4^u M.T. Grw. ☾ Æ = $3^u33^m9^s$,20 in 10^m verand. 21^s,725
M.T. Greenwich = 4^u42^m	„ „ ☾ decl. = 22°0′58″,3 N. „ „ + 50″,60

10^m : 42^m = 21^s,725 : x	10^m : 42^m = 50″,6 : x
x = 91,245	x = 3′32″,52
ten 4^u ☾ Æ = 3^u33^m 9^s,20	ten 4^u ☾ N. decl. = 22°0′58″,3
Corr. voor 42^m = 1^m31^s,25	Corr. voor 42^m = + 3′32″,5
gecorr. ☾ Æ = $3^u34^m40^s$,45	gecorr. ☾ N. decl. = 22°4′30″,8.

Wil men echter nauwkeuriger werken, en den invloed van de tweede verschillen in rekening brengen, dan moet men de veranderingen der Æ en decl. in 10^m herleiden tot midden tusschen den tijd, waarvoor de Æ en decl. gevraagd worden en het voorgaande uur in den Almanac, om dan de verandering in 10^m te verkrijgen door een eenvoudige evenredigheid. Zoo vindt men b. v.

20 October 4^u △ ☾ Æ in 10^m = 21^s,725 ten 4^u △ ☾ decl. = + 50^s,60
5^u „ = 21^s,735 „ 5^u „ = + 49^s,48
dus 20 Oct. ten 4^u 21^m △ ☾ Æ in 10^m = 21^s,728 en te 4^u21^m △ ☾ decl. in 10^m = + 50^s21

uit de evenredigheden:

10^m : 42^m = 21,728 : x en 10^m : 42^m = 50^s,21 : x', vindt men:
x of △ ☾ Æ in 42^m = 91^s,257 x' of △ ☾ d. in 42^m = + 210″,88 = 3′30″,9.

zoodat het, met het boven gevondene, slechts zeer weinig verschil geeft.

Bij de gegevens voor de maan, merken wij dus op:

1°. dat de halve middellijn nooit meer verandert dan 8″ in 12^u;

2°. dat het equatoriaal horizontaal verschilzicht hoogstens 27″ in de 12^u verandert;

3°. dat de grootste verandering in **rechte opklimming** 2ˢ,917 per minuut is, en de kleinste verandering daarin 1ˢ,75 per minuut bedraagt;

4°. dat de maansdeclinatie hoogstens 17″ per minuut verandert.

Op pag. XII vindt men de **phases der maan**. De hier gegeven getallen geven den zeevaartkundigen middelbaren tijd te **Greenwich**, waarop de Lengte-verschillen van zon en maan = 0°, 90°, 180° en 270° zijn, daar het in die omstandigheden successievelijk Nieuwe Maan, Eerste Kwartier, Volle Maan en Laatste Kwartier is.

De **maans apogeum** en **perigeum**, daaronder volgende, zijn de middelbare tijd **Greenwich** in volle uren uitgedrukt, waarop de maan haar grootsten en haar kleinsten afstand tot de aarde bereikt.

BLADZIJDE XIII TOT XVIII VAN ELKE MAAND

bevatten, onder de benaming van **maans-afstanden**, om de drie uren middelbare tijd te **Greenwich**, de hoeken tusschen het middelpunt der maan en dat der zon, der groote planeten en van eenige vaste sterren, gezien uit het middelpunt der aarde. Zij dienen om den juisten middelbaren tijd **Greenwich** te vinden, overeen komende met den gemeten rands-afstand, nadat die tot ware middelpunts-afstand is herleid. Zij zijn in de volgorde van West naar Oost opgegeven, elken dag beginnende met het hemellicht, dat zich op den grootsten afstand **bewesten** de maan bevindt. De positie, waarin de hemellichamen zich ten opzichte van de maan doen zien, is aangeduid door de letters, die achter de afstanden geplaatst zijn; W beteekent dat het zich bewesten, E dat het zich beoosten de maan bevindt.

De kolommen waarboven staat „P. L. of diff", behelzen de proportionaal-logarithmen der verschillen van de afstanden in de tijdvakken van drie uren, en dienen om den tijd te **Greenwich** te vinden, die met een gegeven afstand overeen komt. Hiertoe trekt men den naast voorgaanden afstand in den Almanac af van den verbeterden afstand, en zoekt daarbij den proportionaal-logarithmus. Van dezen trekt men den proportionaal-logarithmus af, die naast den afstand in den Almanac staat; het verschil is de proportionaal-logarithmus van den tijd, welke moet worden opgeteld bij het uur, waarvoor de afstand in den Almanac genomen is, om het oogenblik te verkrijgen, overeenkomende met den gegeven afstand.

De afstanden tusschen de maan en de andere hemellichamen veranderen **niet** eenparig, en dus zal de tijd te **Greenwich**, op boven genoemde wijze gevonden, niet juist zijn, maar moet nog een correctie voor de tweede verschillen daarop worden toegepast.

Deze correctie vindt men in een tafeltje opgegeven op pag. 478 van den Almanac. De beteekenis daarvan en het gebruik verklaren wij bij de behandeling der maans-afstanden in het 2ᵉ Deel.

De proportionaal-logarithmen wijzen ook de hemellichamen aan, die het gunstigste geplaatst zijn voor nauwkeurige afstands-waarneming. De hemellichamen waarnaast de kleinste proportionaal-logarithmen voorkomen, zijn voor de observatie te verkiezen; immers, hoe sneller de maan zich verplaatst ten opzichte van een ster, des te grooter vertrouwen verdient de waarneming, daar de invloed van fouten dan geringer is dan bij kleine veranderingen in onderlingen stand gedurende hetzelfde tijdsverloop. Nu zijn natuurlijk de proportionaal-logarithmen het grootst, naarmate de natuurlijke getallen het kleinst zijn, en omgekeerd; een kleine proportionaal-logarithmus duidt dus een groote verplaatsing der maan aan.

Van pag. 218—225 volgen nu de zons-coördinaten, voor de zeevaartkundige berekeningen niet noodig, evenmin als de schijnbare helling van de ecliptica, welke dagelijks op den middelbaren middag te Greenwich in de laatste kolom dezer bladzijden is opgegeven.

Pag. 226—269 bevatten de géocentrische en héliocentrische plaatsen der planeten Mercurius, Venus, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus op den middelbaren middag te Greenwich.

De géocentrische plaatsen, zijn de plaatsen der middelpunten van de planeten, gezien uit het middelpunt der aarde; de héliocentrische zijn die plaatsen, zooals ze gezien zouden worden uit het middelpunt der zon.

In de kolom waarboven staat „Meridian Passage", is de middelbare tijd opgegeven, waarop de planeet door den meridiaan van Greenwich gaat. Even als bij de maan, vindt men ook hier somtijds 2 sterretjes, aanduidende, dat op dien dag de planeet niet den meridiaan van Greenwich zal passeeren, daar ook de tijd, verloopen tusschen twee opvolgende doorgangen der planeet door den boven-meridiaan langer kan zijn dan één middelbare zonsdag.

Evenzoo kan een planeet op één zonsdag tweemalen den meridiaan passeeren, hetgeen natuurlijk bij de maan niet kan gebeuren. Ten gevolge van de schijnbare beweging der planeten, kan toch de tijd tusschen twee opvolgende doorgangen der planeet door den boven-meridiaan ook korter zijn dan een zonsdag, en dus beide doorgangen binnen de grenzen van een middelbaar etmaal vallen. Indien dit het geval is, zijn de oogenblikken van doorgang door den meridiaan beide in de kolom opgegeven.

Bladzijde 270—289 bevatten de rechte-opklimming en declinatie der planeten op het oogenblik, dat zij den meridiaan van Greenwich passeeren. Hierbij zijn opgegeven de veranderingen in één uur Lengte, om de gegevens te herleiden tot den tijd van doorgang door elken anderen meridiaan.

De sterretijd, besteed door de halve middellijn om den meridiaan te passeeren, dient om een waarneming der rechte-opklimming van den rand tot die van het middelpunt te herleiden, en

de halve middellijn heeft gelijk doel voor de declinatie.

De horizontale parallaxis dient, om de herleiding van een waarneming van het oppervlak der aarde tot het middelpunt te bewerkstelligen.

De bladzijden 290—366 bevatten gegevens omtrent de plaatsen van 197 vaste sterren. Op bladzijde 290—293 zijn de middelbare plaatsen der sterren gegeven op den 31 December des vorigen jaars, met hare grootte en de jaarlijksche verandering in Æ en declinatie; Noorder-declinatie is door het teeken +, Zuider-declinatie door het teeken — aangeduid. De sterren zijn hier in de volgorde harer rechte-opklimmingen gegeven, en dus kunnen de opgaven op deze bladzijden dienen, om gemakkelijk de sterren te zoeken die men noodig heeft, van welke op pag. 309—365 de ware plaatsen zijn opgegeven.

De bladzijden 294—310 bevatten formules en tafels om de ware Æ en declinatie af te leiden uit de middelbare Æ en declinatie.

Op pag. 311 en vervolgens zijn de Æ en declinatie der sterren gegeven op het oogenblik van haar doorgang door den bovenmeridiaan van Greenwich. Van vijf sterren: α Kleine Beer (Poolster), 51 Cepheus, δ Kleine Beer, σ Octantis, en λ Kleine Beer, allen nabij de noordpool gelegen, zijn die opgaven per dag genoteerd, van de 192 andere sterren zijn ze om de tien dagen opgegeven.

Bladzijden 367—395 geven, onder den naam van Moon-Culminating Stars, die sterren, welke niet veel in rechte-opklimming en declinatie van de maan verschillen, en dus geschikt zijn om te gelijk met de maan te worden waargenomen, ten einde het Lengte-verschil tusschen twee plaatsen te bepalen. Wanneer men toch de rechte-opklimming van zulk een ster, en die van den verlichten rand der maan op twee verschillende plaatsen waarneemt, zou, indien de maan geen eigen beweging had, hun rechte-opklimmingsverschil voor alle meridianen gelijk zijn, doch, tusschen haren doorgang door twee verschillende meridianen, zal de Æ der maan veranderd zijn. Het verschil in de beide waargenomen Æ-verschillen zal de grootte van de verandering in rechte-opklimming aangeven, gedurende den tijd, die de maan noodig heeft om schijnbaar den boog, tusschen de beide meridianen begrepen, te doorloopen. Men kent de grootte van hare verandering in rechte-opklimming; hieruit is dus gemakkelijk het Lengte-verschil af te leiden.

De verdere kolommen van deze bladzijden behoeven geen verklaring.

Pag. 397—405 bevatten de gegevens benoodigd om de tijden, plaatsen enz. op de aarde te vinden, waar de eclipsen van zon en maan zichtbaar zullen zijn, alsmede de elementen welke bij deze berekeningen gebezigd zijn. Het beloop eener zoneklips is op een centrale projectie geteekend, ter verduidelijking.

Van pag. 406—445 vindt men de elementen van de occultatiën der sterren door de maan. Zij bevatten de dagen der maand, de namen der sterren, hare grootte en in de 4e kolom den middelbaren tijd te Green-

wich, waarop de maan dezelfde rechte-opklimming zal hebben als de ster, gezien uit het middelpunt der aarde. Daarop volgen:

1°. de ware plaatsen van de sterren tot de $6\frac{1}{2}^{de}$ grootte, waarvan de occultatiën in eenig gedeelte der aarde zichtbaar zullen zijn. De plaatsen zijn opgegeven voor middelbaren middernacht te Greenwich;

2°. de verschillen in declinatie van maan en ster op het oogenblik dat hare rechte-opklimmingen gelijk zijn;

3°. de breedte-parallellen waarboven de maan de ster niet kan bedekken.

Deze gegevens zijn noodig bij de berekening van een sterbedekking, omdat zij, als betrekking hebbende op de maan en de ster gezien uit het middelpunt der aarde, onafhankelijk zijn van de ligging der plaats op aarde. Men heeft slechts het Lengteverschil der plaats, waar men zich bevindt, met Greenwich, toe te passen op den middelbaren tijd Greenwich, waarop de rechte-opklimmingen gelijk zijn, om het oogenblik te vinden, waarop dit op elken anderen meridiaan plaats heeft, en bij dien gevonden tijd behooren de plaatsen van de maan en de sterren die hier zijn opgegeven.

De grenzen der breedte hier opgegeven duiden de breedte-parallellen aan, waarboven de occultatiën niet plaats kunnen hebben, berekend uit de beweging der maan tusschen de aarde en de opgegeven ster.

De drie volgende bladzijden behelzen een lijst van sterren wier occultatiën door de maan zichtbaar zijn te Greenwich met opgave van den sterretijd en den middelbaren tijd waarop de ster achter de maan verdwijnt en weder te voorschijn zal treden.

De volgende een en twintig bladzijden, 450—471 bevatten opgaven omtrent de satellieten van Jupiter. Men vindt er de middelbare tijden, de eclipsen, occultatiën en de overgangen van de satellieten van Jupiter.

De verschijnselen die plaats hebben wanneer Jupiter meer dan 8° boven den horizon van Greenwich is, en de zon zich minder dan 8° beneden dien horizon bevindt, zijn met een sterretje aangeduid, om er op te wijzen dat zij te Greenwich zichtbaar zullen zijn. Is Jupiter dichter bij den horizon dan 8°, dan zijn de verschijnselen met een kruisje geteekend, om aan te toonen, dat zij onder zeer gunstige omstandigheden waarneembaar zijn.

De phasen der eclipsen worden maandelijks in diagrammen bij de vorige opgaven gevoegd, terwijl teekeningen van de onderlinge standen der planeet en van de satellieten, zooals zij in een kijker gezien zullen worden die de beelden omkeert, ook op de rechter-bladzijden van elke maand voorkomen.

Eclipsen, d. i. het verdwijnen der satellieten in den schaduwkegel van Jupiter, en occultatiën of bedekkingen der satellieten door de planeet, kunnen alleen plaats hebben als de satellieten in het bovenste deel hunner loopbaan zijn, dus Jupiter tusschen de aarde en den wachter is; de

satellieten bewegen zich dan van 't Westen naar het Oosten. Zijn de satellieten in het benedenste deel hunner loopbaan, dus tusschen de Aarde en Jupiter, dan bewegen zij zich van 't Oosten naar het Westen, en kunnen overgangen der satellieten of van hare schaduw over de planeet worden waargenomen.

De vier volgende bladzijden behelzen eenige merkwaardige verschijnselen aan den hemel, die bij sterrekundige berekeningen van nut kunnen zijn, als: de tijden van conjunctie in rechte-opklimming van de planeten met de maan en met elkander, en de tijden, waarop het verschil in rechte-opklimming van de planeten en eenige sterren nul zal zijn, alles in volle uren uitgedrukt, enz. Pag. 474 bevat gegevens ter berekening van den stand van den ring van Saturnus, om de 20 dagen het geheele jaar door, hetzij de planeet zichtbaar zij of niet. De gedeelten, die van de planeten Venus en Mars zichtbaar zullen zijn op den 15[den] van elke maand, enz.

Hierop volgen twee bladzijden, die voor de berekeningen der watergetijden de noodige gegevens bevatten, uitgaande van den middelbaren tijd van hoog water bij London-Bridge, die dagelijks is opgegeven.

Eenige correctie-tafels nemen de volgende bladzijden in, waarbij wij wijzen op: 1°. de tafel, welke de correctie voor tweede-verschillen bevat, behoorende bij het zoeken van den middelbaren tijd Greenwich, overeenkomende met een verbeterden maans middelpunts-afstand, pag. 482;

2°. een tafel, dienende om de Breedte te vinden uit de waargenomen hoogte der poolster, buiten den meridiaan, pag. 483—485;

3°. de tafels, waardoor men sterretijd tot middelbaren tijd en omgekeerd kan herleiden, zooals boven reeds is aangewezen, en waaruit Tafel XXII en XXIII van BROUWER getrokken zijn;

4°. de dagen des jaars en het gedeelte van een jaar, verloopen sedert den middelbaren middag te Greenwich op 1 Januari;

5°. de dagen, verloopen sedert den aanvang van de Juliaansche periode, dus sedert 4714 v. Chr., tot den middelbaren middag van elken dag. Deze opgave kan dienen om het aantal dagen te vinden, verloopen tusschen twee bepaalde datums, en komt dus bij de behandeling der tijdmeters meermalen te pas. De inrichting en het gebruik dezer tafels vereischen geen verklaring.

Eindelijk bevat de Almanac nog een lijst van de voornaamste observatoriën, met opgave van hunne breedten en lengten, de laatste gerekend van den meridiaan van Greenwich.

Dit is in het algemeen de inrichting van den Nautical Almanac voor het jaar 1880; de pagina's komen, behalve de 18 die voor elke maand zijn afgezonderd, natuurlijk niet elk jaar overeen, maar de opgaven blijven in de bovengenoemde volgorde voorkomen. Heeft er in het jaar waarvoor de Almanac geldt, een overgang van Mercurius of Venus over de zonneschijf plaats,

dan komen de tijden van in- en uittreding en andere gegevens in den Almanac voor.

Tegenwoordig wordt aan boord der Nederlandsche oorlogschepen algemeen de Nautical Almanac verstrekt en gebruikt, en daarom is zijne inrichting eenigszins uitvoerig beschreven, vooral voor zooverre de gegevens, die er in voorkomen, den zeeman noodig zijn bij zijne berekeningen. Omtrent het zoeken der waarden van die gegevens, zullen wij later eenige woorden in 't midden brengen om er den lezer een denkbeeld van te geven, maar ieder zeeman zal vóór het aanvaarden zijner reis moeten zorgen, zich de Almanakken, die hij noodig kan hebben, aan te schaffen, en dus, indien het vooruitzicht bestaat dat hij tot een volgend jaar afwezig blijft, zich ook tijdig van een almanak voor dat jaar moeten voorzien.

BESCHOUWINGEN OVER DE INTERPOLATIE MET INACHTNEMING DER TWEEDE VERSCHILLEN.

Als men de verandering der grootheden in den almanak eenigszins nauwlettend gadeslaat, dan bespeurt men weldra, dat zij onregelmatig is, zoodat men haar, streng genomen, niet evenredig met die van den tijd mag stellen. Ofschoon het in de meeste gevallen aan boord geheel voldoende is, de gevraagde grootheid door eenvoudige interpolatie te zoeken, zoo kan nogtans, gelijk dat somtijds bij maansafstanden plaats heeft, een grootere mate van nauwkeurigheid wenschelijk worden geacht, in welk geval men dan de tweede verschillen der grootheden in rekening moet brengen.

Het eenvoudigste is, dat men eerst door de gewone interpolatie de grootheid zoekt, en daarna voor de tweede verschillen een verbetering daarop toepast. De derde verschillen worden verondersteld nul te zijn en mitsdien buiten rekening gelaten.

Zij, om hiervoor een geschikte formule te vinden, φ de ruimte, die een hemellicht in één secunde tijds doorloopt, op het einde van een tijdstip T, en v de versnelling in de opvolgende secunden, dan is de doorgeloopen ruimte:

in de 1e secunde na het tijdstip T . . . $= \varphi + v$
„ „ 2e „ „ „ „ T $= \varphi + 2v$
„ „ 3e „ „ „ „ T $= \varphi + 3v$
„ „ ne „ „ „ „ T $= \varphi + nv$.

De geheele doorgeloopen ruimte S gedurende n secunden, voorgesteld door de som van deze arithmetische reeks, is:

$$S = \tfrac{1}{2} n (\varphi + v + \varphi + nv) = n\varphi + (n^2 + n) \tfrac{1}{2} v.$$

Is voorts A de doorgeloopen ruimte op het tijdstip T, dan zal die ruimte op het tijdstip $T + n$ gelijk zijn aan $A + S = A + n\varphi + (n^2 + n) \frac{1}{2} v$, en zoo wij deze uitdrukking ter bekorting $= Q$ stellen, dan wordt

(I) . . . . $Q = A + n\varphi + (n^2 + n) \frac{1}{2} v$

waarin φ en v onbekenden zijn, waarvoor een waarde moet gezocht worden.

Laat R de tijdsruimte zijn, tusschen de in den almanac voorkomende tijdstippen, voor welke de grootheden zijn opgegeven, dan mag, dewijl n alle mogelijke waarden kan hebben, gesteld worden:

$$n = -R$$
$$n = 0$$
$$n = +R$$
$$n = 2R$$

Substitueeren wij achtereenvolgens deze waarden in formule (I), dan komt voor de doorgeloopen ruimten B, B', B'' en B''', in de tijden $T - R$, T, $T + R$ en $T + 2R$:

$$B = A - R\varphi + (R^2 - R)\tfrac{1}{2}v.$$
$$B' = A$$
$$B'' = A + R\varphi + (R^2 + R)\tfrac{1}{2}v.$$
$$B''' = A + 2R\varphi + (4R^2 + 2R)\tfrac{1}{2}v.$$

Deze vergelijkingen van elkander aftrekkende, verkrijgt men voor de eerste verschillen P_1, P_2 en P_3:

$$\text{(II)} \quad \begin{aligned} P_1 &= B' - B = R\varphi - (R^2 - R)\tfrac{1}{2}v \\ P_2 &= B'' - B' = R\varphi + (R^2 + R)\tfrac{1}{2}v \\ P_3 &= B''' - B'' = R\varphi + (3R^2 + B)\tfrac{1}{2}v. \end{aligned}$$

Trekt men deze vergelijkingen andermaal van elkander af, dan verkrijgt men voor de tweede verschillen D en D':

$$\text{(III)} \quad \begin{aligned} D &= P_2 - P_1 = R^2 v \\ D' &= P_3 - P_2 = R^2 v. \end{aligned}$$

Meestal is D niet gelijk D'; de verwaarloozing van dit verschil, zijnde het derde verschil, wordt eenigermate vereffend, door het tweede verschil te nemen gelijk aan $\frac{1}{2}(D + D')$.

Uit formule (III) volgt

$$v = \frac{D}{R^2}$$

en deze waarde in formule (II) gesubstitueerd, geeft:

$$P_2 = R\varphi + (R^2 + R)\tfrac{1}{2}\frac{D}{R^2}$$
$$= R\varphi + \frac{D}{2} + \frac{D}{2R}$$

waaruit

$$\varphi = \frac{P_2}{R} - \frac{D}{2R} - \frac{D}{2R^2}.$$

Substitueeren wij de gevonden waarden van v en φ in formule (I), dan komt

$$Q = A + \frac{nP_2}{R} - \frac{nD}{2R} - \frac{nD}{2R^2} + (n^2 + n)\frac{D}{2R^2}$$

$$\text{(IV)} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . = A + \frac{nP_2}{R} - \frac{n(R-n)}{2R^2} D$$

door welke formule de interpolatie, met inachtneming der tweede verschillen, het gemakkelijkst kan geschieden. In deze formule is

A . . . . de grootheid op het tijdstip T;
P_2 . . . . het eerste verschil, dus
$\frac{nP_2}{R}$ . . . . de verandering volgens de gewone interpolatie, die moet worden toegepast met het teeken van P_2;
$\frac{n(R-n)}{2R^2} D$. De verbetering voor het tweede verschil, die met het omgekeerde teeken van D in rekening wordt gebracht.

De factor $\frac{n(R-n)}{2R^2}$ kan ook aldus worden geschreven:

$$\tfrac{1}{2}\frac{n}{R}\left(1 - \frac{n}{R}\right).$$

Neemt men achtereenvolgens voor $\frac{n}{R}$ waarden: 0,1 , 0,2 . . . . . 0,9 , dan kan men het volgende tafeltje samenstellen, dat in de berekening veel gemak geeft:

$\frac{n}{R}$	$\tfrac{1}{2}\frac{n}{R}\left(1 - \frac{n}{R}\right)$
0,1	0,045
0,2	0,080
0,3	0,105
0,4	0,120
0,5	0,125
0,6	0,120
0,7	0,105
0,8	0,080
0,9	0,005
1,0	0.

Valt het oogenblik, waarvoor men interpoleert, juist midden tusschen de in den almanak opgegeven tijdstippen, dan is $\frac{n}{R} = 0,5$. Volgens bovenstaand tafeltje, heeft de factor $\frac{n(R-n)}{2R^2}$ voor dit geval de grootste waarde, namelijk $\frac{1}{8}$, en men ontwaart, dat de fout, die door het verwaarloozen der tweede verschillen kan worden begaan, nimmer meer dan $\frac{1}{8}$ van het tweede verschil kan bedragen.

Voorbeeld. Men vraagt, den 7^{den} Maart 18. . ten $4^u40^m12^s$ middelbaren tijd te Greenwich, de rechte-opklimming der maan, met inachtneming der tweede verschillen.

Nu is

$$
\begin{aligned}
\text{tijd Greenwich} &= 4^u40^m12^s \\
\text{naast kleinere tijd} &= 3^u \\
\text{dus } n &= \overline{1^u40^m12^s} = 1^u,67 \\
R &= 3^u \\
\frac{n}{R} &= 0,56.
\end{aligned}
$$

In den almanak vindt men:

7 Maart	ten	0^u	☾ Æ	$= 8^u55^m54^s,61$
7 „	„	3^u	„	$= 9^u\ 2^m25^s,19$
7 „	„	6^u	„	$= 9^u\ 8^m53^s,17$
7 „	„	9^u	„	$= 9^u15^m15^s,58.$

Men heeft dus:

	1e verschil	2e verschil	
$B = 8^u55^m54^s,61$			
$B' = 9^u\ 2^m25^s,19$	$+ 6^m30^s,58$	$-3^s,60$	gemiddeld $= -3^s,58 = D.$
$B'' = 9^u\ 8^m52^s,17$	$6^m26^s,98$	$-3^s,57$	
$B''' = 9^u15^m15^s.58$	$6^m23^s,41$		

In het tafeltje geeft $\frac{n}{R} = 0,56$, voor den factor $\frac{1}{2}\,\frac{n}{R}\left(1 - \frac{n}{R}\right)$ een waarde van 0,123. Men verkrijgt dus voor de verbetering $\frac{n\,(R-n)}{2R^2}\,D$, na substitutie:

$$\frac{n\,(R-n)}{2R^2}\,D = -0,123 \times 3^s,58 = -0^s,44.$$

Om den term $\frac{n}{R}P_2$ te berekenen, gaat men op de gewone wijze te werk, aldus:

$$
\begin{aligned}
&\text{in } 3^u && ☾\ Æ && \text{verand.} = 6^m26^s,98 \\
&\text{in } 1^u && „ && „ \quad = 2^m\ 8^s,99 \\
&„ \quad 40^m && „ && „ \quad = 1^m25^s,99 \\
&„ \quad\quad 12^s && „ && „ \quad = \quad 0^s,43 \\
&\text{in } 1^u40^m12^s && „ && „ \quad = 2^m35^s,41 = \frac{n}{R}P_2
\end{aligned}
$$

De verschillende termen van formule (IV) kennende, wordt de bewerking ten slotte:

A . . . . ☾ Æ te $3^u = 9^u 2^m 25^s,19$

$+\frac{nP_2}{R}$ . . . . eerste term $= + 3^m 35^s,41$

$-\frac{n(R-n)}{2R^2}D$ . . . . . tweede term $= + \quad 0^s,44$

Q . . . . Gevraagde ☾ Æ $= 9^u 6^m \; 1^s,04$.

Bij de declinatie der maan is de verbetering voor de tweede verschillen dikwijls van nog meer belang dan bij de rechte-opklimming. Om in dit geval van de verschillen voor 10^m, die in den almanak gegeven zijn, gebruik te maken, merke men op, dat deze $\frac{1}{18}$ zijn van de verschillen in 3 uren. De tweede verschillen, die men behoeft, als men de gevonden formule wil gebruiken, zullen dus voorgesteld worden door 18 maal de toe- of afneming der achtereenvolgende veranderingen in 10^m, en de verbetering, die voor de tweede verschillen op de declinatie der maan moet worden toegepast, nadat deze door de gewone interpolatie gevonden is, zal dus worden voorgesteld, door de formule:

$$\text{verbetering} = -9 \times \frac{n}{R}\left(1 - \frac{n}{R}\right) \times p$$

als p de bedoelde toe- of afneming van het verschil in 10^m beteekent.

Behalve op het teeken van p, moet ook op het teeken der eerste verschillen worden acht gegeven.

Voor het gemak der berekening, diene het navolgende tafeltje, waarin voor verschillende waarden van $\frac{n}{R}$, de factor $9 \times \frac{n}{R}\left(1 - \frac{n}{R}\right)$ wordt aangetroffen.

$\frac{n}{R}$	$9\frac{n}{R}\left(1-\frac{n}{R}\right)$	$\frac{n}{R}$	$9\frac{n}{R}\left(1-\frac{n}{R}\right)$	$\frac{n}{R}$	$9\frac{n}{R}\left(1-\frac{n}{R}\right)$	$\frac{n}{R}$	$9\frac{n}{R}\left(1-\frac{n}{R}\right)$	$\frac{n}{R}$	$9\frac{n}{R}\left(1-\frac{n}{R}\right)$
0,02	0,176	0,22	1,544	0,42	2,192	0,62	2,120	0,82	1,328
0,04	0,346	0,24	1,642	0,44	2,218	0,64	2,074	0,84	1,210
0,06	0,508	0,26	1,732	0,46	2,236	0,66	2,020	0,86	1,084
0,08	0,662	0,28	1,814	0,48	2,246	0,68	1,958	0,88	0,950
0,10	0,810	0,30	1,890	0,50	2,250	0,70	1,890	0,90	0,810
0,12	0,950	0,32	1,958	0,52	2,246	0,72	1,814	0,92	0,662
0,14	1,084	0,34	2,020	0,54	2,236	0,74	1,732	0,94	0,508
0,16	1,210	0,36	2,074	0,56	2,218	0,76	1,642	0,96	0,346
0,18	1,328	0,38	2,120	0,58	2,192	0,78	1,544	0,98	0,176
0,20	1,440	0,40	2,160	0,60	2,160	0,80	1,440	1,00	0,000

Voorbeeld. Den 7den Juni 18 .. des namiddags ten $5^u 7^m 20^s$ middelbaren tijd aan boord, zijnde op 40°15′ W.L., vraagt men de declinatie der maan, met inachtneming der tweede verschillen.

$$
\begin{aligned}
\text{W.L.} &= 40^\circ 15' \\
\text{in tijd} &= 2^u 41^m\ 0^s \\
\text{7 Juni middelb. tijd } a/b &= 5^u\ 7^m 20^s \\
\text{7 Juni middelb. tijd Greenwich} &= 7^u 48^m 20^s \\
\text{naast kleinere tijd} &= 6^u \\
n &= 1^u 48^m 20^s = 1^u,805 \\
R &= 3^u \\
\frac{n}{R} &= 0{,}602.
\end{aligned}
$$

Opgaven in den almanak:

7 Juni ☾ declin. te $6^u = 10^\circ\ 6'35'',8$ Z. verschil voor $10^m = 128'',2$
7 „ „ „ $9^u = 10^\circ 45'\ 4'',3$ „ „ „ $10^m = 126'',9$
$p = -1'',3.$

In de tafel vindt men:

$$\text{voor } \frac{n}{R} = 0{,}602 \ldots 9\ \frac{n}{R}\left(1 - \frac{n}{R}\right) = 2{,}156.$$

Wij hebben dus

A	. . . .	te 6^u ☾ declin. $= 10^\circ\ 6'35'',8$ Z.
$\frac{n}{R} P_2$	. . . .	$0{,}602 \times 18 \times 128'',2 = +\ 23'\ 8'',4$
$-\frac{n}{2R^2}(R-n)D = -9\frac{n}{R}\left(1-\frac{n}{R}\right)p$	. . . .	$+\ 1'',3 \times 2{,}156 = +\ \ 2'',8$
Q	. . . .	Gevraagde ☾ declin. $= 10^\circ 29'47'',0$ Z.

V. BEREKENING VAN DE RECHTE OPKLIMMING EN DE DECLINATIE DER ZON, BENEVENS DIE DER TIJDVEREFFENING.

Onder de verschillende omstandigheden, waarin de zeeman zich kan bevinden, kunnen wij ons ook die voorstellen, waarin hij door een of ander toeval van een zeemans-almanak verstoken is.

Is hij in het bezit van een goeden tijdmeter, dan zal hij in dat geval reeds voldoende gebaat zijn, als hij de grootheden kent, die van de zon in den almanak voorkomen, en wij achten het uit dien hoofde van gewicht hem aan te toonen, op welke wijze de bedoelde grootheden met behulp der navolgende tafels, met een voor de praktijk voldoende nauwkeurigheid, zonder veel omslag, kunnen berekend worden.

Schrijven wij ter bekorting:

α voor de middelbare Lengte der zon,
α' „ de Lengte van het perigeum,
m „ de middelbare anomalie,
⊙ „ de geocentrische Lengte der zon,
E „ de middelpuntsvereffening,

N voor het supplement van de Lengte van den knoop der maan, uitgedrukt in deelen van den omtrek $= 4000$,
φ „ de middelbare helling der ecliptica,
φ' „ de ware „ „ „
$\psi☾$ „ maansnutatie in Lengte,
$\psi\odot$ „ zonsnutatie „ „
$\Omega☾$ „ maansnutatie in helling,
$\Omega\odot$ „ zonsnutatie „ „

dan is, als wij de storingen buiten rekening laten (1):

$$\alpha = 280^{\circ}47'\ 6'',54 + 1296027'',6784\, t \ldots \text{Tafel I}$$
$$\alpha' = 280^{\circ}21'21'',5 + 61'',6995\, t \ldots „$$
$$N = 2375,994 + 214,90733\, t \ldots „$$

terwijl wij voor de verandering dier grootheden hebben:

	α	α'	N	
in 1 dag	$0^{\circ}59'8'',3304$	$0'',169$	0,588385	. . . Tafel II en III.

Voorts is

$$E = (6918'',310 - 0'',17510\, t) \sin m + (72'',508 - 0'',00375\, t) \sin 2m + (1'',054 - 0'',00008\, t) \sin 3m + 0'',018 \sin 4m \ldots \text{Tafel IV}$$
$$\psi☾ = 17'',264 \sin N - 0'',206 \sin 2N \ldots „\ \text{V}$$
$$\psi\odot = -1'',264 \sin 2\odot \ldots „\ \text{VI}$$
$$\varphi = 23^{\circ}27'31'',83 - 0'',47594\, t \ldots „\ \text{VII}$$
$$\Omega☾ = 9'',23 \cos N - 0'',090 \cos 2N \ldots „\ \text{VIII}$$
$$\Omega\odot = +0'',548 \cos 2\odot \ldots „\ \text{IX}$$

als t het aantal jaren beteekent, verloopen sedert den 1sten Januari 1850 op den middelbaren middag te Greenwich.

Om de boven bedoelde grootheden te vinden, hebben wij de navolgende formules:

$$Æ \text{ middelb. zon} = \alpha + (\psi☾ + \psi\odot)\cos\varphi' = Æ \text{ ware zon} \pm \text{tijdvereffening},$$
$$m = \alpha - \alpha'$$
$$\odot = \alpha + E + \psi☾ + \psi\odot$$
$$\varphi' = \varphi + \Omega☾ + \Omega\odot$$
$$\text{tang } Æ \text{ ware zon} = \text{tang } \odot \cos\varphi'$$
$$\text{sin declin. „ „} = \sin\odot \sin\varphi'$$
$$\text{tijdvereffening} = Æ \text{ middelb. zon} - Æ \text{ ware zon}.$$

Een negatieve waarde der tijdvereffening geeft te kennen, dat zij van den middelbaren tijd moet worden afgetrokken, om den waren te doen vinden, en omgekeerd.

(1) Leverrier, Annales de l'observatoire impérial de Paris, 1858.

V o o r b e e l d. Men vraagt de rechte-opklimming en de declinatie der zon, benevens de tijdvereffening op den 1[sten] Januari 1865, ten 0^u middelbaren tijd G r e e n w i c h.

Tafel I . . . . . . $\alpha = 281^0 8'48'',80$ . . . . . . $\alpha' = 280^0 36'47'',0$ $N = 1600$
„ V ψ☾ $= +\ 10'',34$ $\alpha = 281^0\ 8'48'',8$
„ VI ψ☉ $= +\ 0'',47$ $m = 0^0 32'\ 1'',8$
ψ☾ $+ \psi$☉ $= +\ 10'',81$
$\cos\varphi' = 0,917$
$\cos\varphi'$ (ψ☾ $+ \psi$☉) $=$ . . . . . . $+\ 9'',91$
Æ middelb. zon $= 281^0\ 8'58'',71$
$= 18^u 44^m 35^s,91.$

Lengte ☉.

$\alpha = 281^0\ 8'48'',80$
Tafel IV $E = 0^0\ 1'\ 5'',8$
„ V ψ☾ $= +\ 10'',34$
„ VI ψ☉ $= +\ 0'',47$
☉ $= 281^0 10'\ 5'',41.$

Helling.

Tafel VII $\varphi = 23^0 27'24'',69$
„ VIII ☊☾ $= -\ 7'',50$
„ IX ☊☉ $= -\ 0'',51$
$\varphi' = 23^0 27'16'',68$

R e c h t e - o p k l i m m i n g e n d e c l i n a t i e.

$\varphi' = 23^0 27'16'',7$ $\cos = 9,962547$ $\sin = 9,599908$
☉ $= 281^0 10'\ 5'',4$ $\tan g = 0,704591\ (-)$ $\sin = 9,991697\ (-)$
tang Æ $= 0,667138\ (-)$ sin declin. $= 9,591605\ (-)$
Æ zon $= 18^u 48^m 34^s,9$ declin. $= 22^0 59'5''$ (Zuid).

T ij d v e r e f f e n i n g.

Æ middelb. zon $= 18^u 44^m 35^s,9$
„ ware „ $= 18^u 48^m 34^s,9$
tijdvereffening $= 3^m 59^s,0\ (-)$ of a f t r. van middelb. tijd.

Vergelijken wij de gevonden waarden met die, welke in den almanak daarvoor staan opgegeven, dan hebben wij:

	volgens den almanak	volgens de berekening	verschil
Æ ware zon	$= 18^u 48^m 35^s,5$	$= 18^u 48^m 34^s,9$	$0^s,6$
declinatie „	$= 22^0 59'\ 3'',5$ Z	$= 22^0 59'\ 5''$ Z	$1'',5$
tijdvereffening	$= 3^m 59^s,6\ (-)$	$= 3^m 59^s,0\ (-)$	$0^s,6$

V o o r b e e l d. Men vraagt voornoemde grootheden, den 1[sten] April 1865, op den middelbaren middag te G r e e n w i c h.

Tafel I		α = 281° 8′48″,80	α' = 280°36′47″,0	N = 1600
„ II		88°42′29″,74	15″,2	53
„ V	ψ☾ = + 9″,13	α = 369°51′18″,54	α' = 280°37′ 2″,2	N = 1653
„ VI	$\psi\odot$ = − 0″,47		α = 369°51′18″,54	
	ψ☾ + $\psi\odot$ = + 8″,66		m = 89°14′16″,3	
	cos φ' = 0,917			
	cos φ' (ψ☾ + $\psi\odot$) =	+ 7″,94		
	Æ middelb. zon =	9°51′26″,48		
		= 0ᵘ39ᵐ25ˢ,76		

Lengte $\odot$.

	α =	9°51′18″,54
Tafel IV	E =	1°55′18″,48
„ V	ψ☾ =	+ 9″,13
„ VI	$\psi\odot$ =	− 0″.47
	$\odot$ =	11°46′45″,68

Helling.

Tafel VII	φ =	23°27′24″,55
„ VIII	Ω☾ =	− 7″,94
„ IX	$\Omega\odot$ =	+ 0″,50
	φ' =	23°27′17″,11

Rechte-opklimming en declinatie.

φ' = 23°27′17″,11	cos = 9,962547	sin = 9,599910
$\odot$ = 11°46′45″, 7	tang = 9,319180	sin = 9,309935 (+)
	tang Æ = 9,281727	sin declin. = 8,909845 (+)
	Æ ware zon = 0ᵘ43ᵐ19ˢ,2	declin. = 4°39′38″ (Noord)

Tijdvereffening.

Æ middelb. zon = 0ᵘ39ᵐ25ˢ,76
„ ware „ = 0ᵘ43ᵐ19ˢ,2
tijdvereffening = 3ᵐ53ˢ,4 (—) of aftr. van middelb. tijd.

Toetsen wij de gevonden waarden aan die, welke in den zeemans-almanak daarvoor staan opgegeven, dan heeft men:

	in den almanak	volgens de berekening	verschil
Æ ware zon	= 0ᵘ43ᵐ19ˢ,8	= 0ᵘ43ᵐ19ˢ,2	0ˢ,6
declin.	= 4°39′41″,4 N	= 4°39′38″ N	3″,4
tijdvereff.	= 3ᵐ54ˢ,0 (—)	= 3ᵐ53ˢ,4 (—)	0ˢ,6

I. Middelbare Lengte der zon, Lengte van het perigeum en supplement van de Lengte van den knoop der maan, op den middelbaren middag van den 1[sten] Januari te Greenwich.

Het supplement van de Lengte van den knoop ☊ *is uitgedrukt in deelen van den omtrek.*

Jaartal.	Midd. Lengte der zon op den 1sten Januari ten 0u Greenwich.	Lengte van het perigeum op den 1sten Januari ten 0u Greenwich.	360°—☊ of N.	Jaartal.	Midd. Lengte der zon op den 1sten Januari ten 0u Greenwich	Lengte van het perigeum op den 1sten Januari ten 0u Greenwich.	360°—☊ of N.
1881	281°16′11″,65	280°53′14″,2	1038	1891	280°51′14″,27	281° 3′31″,1	3187
1882	281 1 52 ,05	54 15 ,9	1253	1892 S	280 36 54 ,87	4 32 ,8	3402
1883	280 47 32 ,84	55 17 ,5	1468	1893	281 21 43 ,79	5 34 ,6	3617
1884 S	280 33 13 ,44	56 19 ,2	1683	1894	281 7 24 ,39	6 36 ,3	3832
1885	281 18 2 ,37	57 21 ,0	1898	1895	280 53 4 ,98	7 37 ,9	47
1886	281 3 42 ,96	58 22 ,7	2113	1896 S	280 38 45 ,58	8 39 ,6	261
1887	280 49 23 ,56	59 24 ,3	2327	1897	281 23 34 ,51	9 41 ,4	477
1888 S	280 35 4 ,15	281 0 26 ,0	2542	1898	281 9 15 ,10	10 43 ,1	692
1889	281 19 53 ,08	1 27 ,8	2758	1899	280 54 55 ,70	11 44 ,7	906
1890	281 5 33 ,67	2 29 ,5	2972	1900	280 40 36 ,29	12 46 ,4	1121

II. Verbetering van bovenstaande grootheden.

Jaar. Gewoon.	Jaar. Schrikkel.	Middelbare Lengte.	Lengte perigeum.	N.	Jaar. Gewoon.	Jaar. Schrikkel.	Middelbare Lengte.	Lengte perigeum.	N.
				Januari.					
1	1	0° 0′ 0″,00	0″,0	0	17	17	15°46′13″,29	2″,7	9
2	2	0 59 8 ,33	0 ,2	1	18	18	16 45 21 ,62	2 ,9	10
3	3	1 58 16 ,66	0 ,3	1	19	19	17 44 29 ,95	3 ,0	11
4	4	2 57 24 ,99	0 ,5	2	20	20	18 43 38 ,28	3 ,2	11
5	5	3 56 33 ,32	0 ,7	2	21	21	19 42 46 ,61	3 ,4	12
6	6	4 55 41 ,65	0 ,8	3	22	22	20 41 54 ,94	3 ,6	12
7	7	5 54 49 ,98	1 ,0	4	23	23	21 41 3 ,27	3 ,7	13
8	8	6 53 58 ,31	1 ,2	4	24	24	22 40 11 ,60	3 ,9	14
9	9	7 53 6 ,64	1 ,4	5	25	25	23 39 19 ,93	4 ,1	14
10	10	8 52 14 ,97	1 ,5	5	26	26	24 38 28 ,26	4 ,2	15
11	11	9 51 23 ,30	1 ,7	6	27	27	25 37 36 ,59	4 ,4	15
12	12	10 50 31 ,63	1 ,9	6	28	28	26 36 44 ,92	4 ,6	16
13	13	11 49 39 ,97	2 ,0	7	29	29	27 35 53 ,25	4 ,7	16
14	14	12 48 48 ,30	2 ,2	8	30	30	28 35 1 ,58	4 ,9	17
15	15	13 47 56 ,63	2 ,4	8	31	31	29 34 9 ,91	5 ,1	18
16	16	14 47 4 ,96	2 ,5	9					
				Februari.					
1	1	30 33 18 ,24	5 ,2	18	16	16	45 20 23 ,20	7 ,8	27
2	2	31 32 26 ,57	5 ,4	19	17	17	46 19 31 ,53	7 ,9	28
3	3	32 31 34 ,90	5 ,6	19	18	18	47 18 39 ,86	8 ,1	28
4	4	33 30 43 ,23	5 ,7	20	19	19	48 17 48 ,19	8 ,3	29
5	5	34 29 51 ,56	5 ,9	21	20	20	49 16 56 ,52	8 ,5	29
6	6	35 28 59 ,89	6 ,1	21	21	21	50 16 4 ,85	8 ,6	30
7	7	36 28 8 ,23	6 ,3	22	22	22	51 15 13 ,18	8 ,8	31
8	8	37 27 16 ,56	6 ,4	22	23	23	52 14 21 ,51	9 ,0	31
9	9	38 26 24 ,89	6 ,6	23	24	24	53 13 29 ,84	9 ,1	32
10	10	39 25 33 ,22	6 ,8	24	25	25	54 12 38 ,17	9 ,3	32
11	11	40 24 41 ,55	6 ,9	24	26	26	55 11 46 ,50	9 ,5	33
12	12	41 23 49 ,88	7 ,1	25	27	27	56 10 54 ,83	9 ,6	34
13	13	42 22 58 ,21	7 ,3	25	28	28	57 10 3 ,16	9 ,8	34
14	14	43 22 6 ,54	7 ,4	26		29	58 9 11 ,49	10 ,0	35
15	15	44 21 14 ,87	7 ,6	26					

Jaar. Gewoon.	Jaar. Schrikkel.	Middelbare Lengte.	Lengte perigeum.	N.	Jaar. Gewoon.	Jaar. Schrikkel.	Middelbare Lengte.	Lengte perigeum.	N.
				Maart.					
1	0	68° 9′11″,49	10″,0	35	17	16	73$_0$55′24″,78	12″,7	44
2	1	69 8 19 ,82	10 ,1	35	18	17	74 54 33 ,11	12 ,8	45
3	2	60 7 28 ,15	10 ,3	36	19	18	75 53 41 ,44	13 ,0	45
4	3	61 6 36 ,49	10 ,5	36	20	19	76 52 49 ,77	13 ,2	46
5	4	62 5 44 ,82	10 ,6	37	21	20	77 51 58 ,10	13 ,3	46
6	5	63 4 53 ,15	10 ,8	38	22	21	78 51 6 ,43	13 ,5	47
7	6	64 4 1 ,48	11 ,0	38	23	22	79 50 14 ,76	13 ,7	48
8	7	65 3 9 ,81	11 ,2	39	24	23	80 49 23 ,09	13 ,9	48
9	8	66 2 18 ,14	11 ,3	39	25	24	81 48 31 ,42	14 ,0	49
10	9	67 1 26 ,47	11 ,5	40	26	25	82 47 39 ,75	14 ,2	49
11	10	68 0 34 ,80	11 ,7	41	27	26	83 46 48 ,08	14 ,4	50
12	11	68 59 43 ,13	11 ,8	41	28	27	84 45 56 ,41	14 ,5	51
13	12	69 58 51 ,46	12 ,0	42	29	28	85 45 4 ,75	14 ,7	51
14	13	70 57 59 ,79	12 ,2	42	30	29	86 44 13 ,08	14 ,9	52
15	14	71 57 8 .12	12 ,3	43	31	30	87 43 21 ,41	15 ,0	52
16	15	27 56 16 ,45	12 ,5	44		31	88 42 29 ,74	15 ,2	53
				April.					
1	0	88 42 29 ,74	15 ,2	53	17	16	104 28 43 ,02	17 ,9	62
2	1	89 41 38 ,07	15 ,4	54	18	17	105 27 51 ,35	18 ,1	63
3	2	90 40 46 ,40	15 ,5	54	19	18	106 26 59 ,68	18 ,2	64
4	3	91 39 54 ,73	15 ,7	55	20	19	107 26 8 ,01	18 ,4	64
5	4	92 39 3 ,06	15 ,9	55	21	20	108 25 16 ,34	18 ,6	65
6	5	93 38 11 ,39	16 ,1	56	22	21	109 24 24 ,67	18 ,8	65
7	6	94 37 19 ,72	16 ,2	56	23	22	110 23 33 ,01	18 ,9	66
8	7	95 36 28 ,05	16 ,4	57	24	23	111 22 41 ,34	19 ,1	66
9	8	96 35 36 ,38	16 ,6	58	25	24	112 21 49 ,67	19 ,3	67
10	9	97 34 44 ,71	16 ,7	58	26	25	113 20 58 ,00	19 ,4	68
11	10	98 33 53 ,04	16 ,9	59	27	26	114 20 6 ,33	19 ,6	68
12	11	99 33 1 ,37	17 ,1	59	28	27	115 19 14 ,66	19 ,8	69
13	12	100 32 9 ,70	17 ,2	60	29	28	116 18 22 ,99	19 ,9	69
14	13	101 31 18 ,03	17 ,4	61	30	29	117 17 31 ,32	30 ,1	70
15	14	102 30 26 ,36	17 ,6	61		30	118 16 39 ,65	20 ,3	71
16	15	103 29 34 ,69	17 ,7	62					
				Mei.					
1	0	118 16 39 ,65	20 ,3	71	17	16	134 2 52 ,93	23 ,0	80
2	1	119 15 47 ,98	20 ,4	71	18	17	135 2 1 ,27	23 ,1	81
3	2	120 14 56 ,31	20 ,6	72	19	18	136 1 9 ,60	23 ,3	81
4	3	121 14 4 ,64	20 ,8	72	20	19	137 0 17 ,93	23 ,5	82
5	4	122 13 12 ,97	21 ,0	73	21	20	137 59 26 ,26	23 ,7	82
6	5	123 12 21 ,30	21 ,1	74	22	21	138 58 34 ,59	23 ,8	83
7	6	124 11 29 ,63	21 ,3	74	23	22	139 57 42 ,92	24 ,0	84
8	7	125 10 37 ,96	21 ,5	75	24	23	140 56 51 ,25	24 ,2	84
9	8	126 9 46 ,29	21 ,6	75	25	24	141 55 59 ,58	24 ,3	85
10	9	127 8 54 ,62	21 ,8	76	26	25	142 55 7 ,91	24 ,5	85
11	10	128 8 2 ,95	22 ,0	76	27	26	143 54 16 ,24	24 ,7	86
12	11	129 7 11 ,28	22 ,1	77	28	27	144 53 24 ,57	24 ,8	86
13	12	130 6 19 ,61	22 ,3	78	29	28	145 52 32 ,90	25 ,0	87
14	13	131 5 27 ,94	22 ,5	78	30	29	146 51 41 ,23	25 ,2	88
15	14	132 4 36 ,27	22 ,6	79	31	30	147 50 49 ,56	25 ,3	88
16	15	133 3 44 ,60	22 ,8	79		31	148 49 57 ,89	22 ,5	89

Jaar. Gewoon.	Jaar. Schrikkel	Middelbare Lengte.	Lengte perigeum.	N.	Jaar. Gewoon.	Jaar. Schrikkel.	Middelbare Lengte.	Lengte perigeum.	N.
			Juni.						
1	0	148°49′57″,89	25″,5	89	17	16	164°36′11″,18	28″,2	98
2	1	149 49 6 ,22	25 ,7	89	18	17	165 35 19 ,51	28 ,4	99
3	2	150 48 14 ,55	25 ,9	90	19	18	166 34 27 ,84	28 ,6	99
4	3	151 47 22 ,88	26 ,0	91	20	19	167 33 36 ,17	28 ,7	100
5	4	152 46 31 ,21	26 ,2	91	21	20	168 32 44 ,50	28 ,9	101
6	5	153 45 39 ,54	26 ,4	92	22	21	169 31 52 ,83	29 ,1	101
7	6	154 44 47 ,87	26 ,5	92	23	22	170 31 1 ,16	29 ,2	102
8	7	155 43 56 ,20	26 ,7	93	24	23	171 30 9 ,49	29 ,4	102
9	8	156 43 4 ,53	26 ,9	94	25	24	172 29 17 ,82	29 ,6	103
10	9	157 42 12 ,86	27 ,0	94	26	25	173 28 26 ,15	29 ,7	104
11	10	158 41 21 ,19	27 ,2	95	27	26	174 27 34 ,48	29 ,9	104
12	11	159 40 29 ,53	27 ,4	95	28	27	175 26 42 ,81	30 ,1	105
13	12	160 39 37 ,86	27 ,5	96	29	28	176 25 51 ,14	30 ,2	106
14	13	161 38 46 ,19	27 ,7	97	30	29	177 24 59 ,47	30 ,4	106
15	14	162 37 54 ,52	27 ,9	97		30	178 24 7 ,80	30 ,6	107
16	15	163 37 2 ,85	28 ,0	98					
			Juli.						
1	0	178 24 7 ,80	30 ,6	107	17	16	194 10 21 ,09	33 ,3	116
2	1	179 23 16 ,13	30 ,7	107	18	17	195 9 29 ,42	33 ,5	117
3	2	180 22 24 ,46	30 ,9	108	19	18	196 8 37 ,75	33 ,6	117
4	3	181 21 32 ,79	31 ,1	108	20	19	197 7 46 ,08	33 ,8	118
5	4	182 20 41 ,12	31 ,3	109	21	20	198 6 54 ,41	34 ,0	118
6	5	183 19 49 ,45	31 ,4	109	22	21	199 6 2 ,74	34 ,1	119
7	6	184 18 57 ,79	31 ,6	110	23	22	200 5 11 ,07	34 ,3	119
8	7	185 18 6 ,12	31 ,8	111	24	23	201 4 19 ,40	34 ,5	120
9	8	186 17 14 ,45	31 ,9	111	25	24	202 3 27 ,73	34 ,6	121
10	9	187 16 22 ,78	32 ,1	112	26	25	203 2 36 ,06	34 ,8	121
11	10	188 15 31 ,11	32 ,3	112	27	26	204 1 44 ,39	35 ,0	122
12	11	189 14 39 ,44	32 ,4	113	28	27	205 0 52 ,72	35 ,1	122
13	12	190 13 47 ,77	32 ,6	114	29	28	206 0 1 ,05	35 ,3	123
14	13	191 12 56 ,10	32 ,8	114	30	29	206 59 9 ,38	35 ,5	124
15	14	192 12 4 ,43	32 ,9	115	31	30	207 58 17 ,71	35 ,6	124
16	15	193 11 12 ,76	33 ,1	115		31	208 57 26 ,05	35 ,8	125
			Augustus.						
1	0	208 57 26 ,05	35 ,8	125	17	16	224 43 39 ,33	38 ,5	134
2	1	209 56 34 ,38	36 ,0	125	18	17	225 42 47 ,66	38 ,7	135
3	2	210 55 42 ,71	36 ,2	126	19	18	226 41 55 ,99	38 ,9	135
4	3	211 54 51 ,04	36 ,3	127	20	19	227 41 4 ,32	39 ,0	136
5	4	212 53 59 ,37	36 ,5	127	21	20	228 40 12 ,65	39 ,2	137
6	5	213 53 7 ,70	36 ,7	128	22	21	229 39 20 ,98	39 ,4	137
7	6	214 52 16 ,03	36 ,8	128	23	22	230 38 29 ,31	39 ,5	138
8	7	215 51 24 ,36	37 ,0	129	24	23	231 37 37 ,64	39 ,7	138
9	8	216 50 32 ,69	37 ,2	129	25	24	232 36 45 ,97	39 ,9	139
10	9	217 49 41 ,02	37 ,3	130	26	25	233 35 54 ,31	40 ,0	139
11	10	218 48 49 ,35	37 ,5	131	27	26	234 35 2 ,64	40 ,2	140
12	11	219 47 57 ,68	37 ,7	181	28	27	235 34 10 ,97	40 ,4	141
13	12	220 47 6 ,01	37 ,8	132	29	28	236 33 19 ,30	40 ,5	141
14	13	221 46 41 ,34	38 ,0	132	30	29	237 32 27 ,63	40 ,7	142
15	14	222 45 22 ,67	38 ,2	133	31	30	238 31 35 ,96	40 ,9	142
16	15	223 44 31 ,00	38 ,3	134		31	239 30 44 ,29	41 ,1	143

Jaar. Gewoon.	Jaar. Schrikkel.	Middelbare Lengte.	Lengte perigeum.	N.	Jaar. Gewoon.	Jaar. Schrikkel.	Middelbare Lengte.	Lengte perigeum.	N.
			September.						
1	0	239°30'44",29	41",1	143	17	16	255°16'57",57	43",8	152
2	1	240 29 52 ,62	41 ,2	144	18	17	256 16 5 ,90	43 ,9	153
3	2	241 29 0 ,95	41 ,4	144	19	18	257 15 14 ,23	44 ,1	154
4	3	242 28 9 ,28	41 ,6	145	20	19	258 14 22 ,57	44 ,3	154
5	4	243 27 17 ,61	41 ,7	145	21	20	259 13 30 ,90	44 ,4	155
6	5	244 26 25 ,94	41 ,9	146	22	21	260 12 39 ,23	44 ,6	155
7	6	245 25 34 ,27	42 ,1	147	23	22	261 11 47 ,56	44 ,8	156
8	7	246 24 42 ,60	42 ,2	147	24	23	262 10 55 ,89	44 ,9	157
9	8	247 23 50 ,93	42 ,4	148	25	24	263 10 4 ,22	45 ,1	157
10	9	248 22 59 ,26	42 ,6	148	26	25	264 9 12 ,55	45 ,3	158
11	10	249 22 7 ,59	42 ,7	149	27	26	265 8 20 ,88	42 ,4	158
12	11	250 21 15 ,92	42 ,9	149	28	27	266 7 29 ,21	45 ,6	159
13	12	251 20 24 ,25	43 ,1	150	29	28	267 6 37 ,54	45 ,8	159
14	13	252 19 32 ,58	43 ,2	151	30	29	268 5 45 ,87	46 ,0	160
15	14	253 18 40 ,91	43 ,4	151		30	269 4 54 ,20	36 ,1	161
16	15	254 17 49 ,24	43 ,6	152					
			October.						
1	0	269 4 54 ,20	46 ,1	161	17	16	284 51 7 ,49	48 ,8	170
2	1	270 4 2 ,53	46 ,3	161	18	17	285 50 15 ,82	49 ,0	170
3	2	271 3 10 ,86	46 ,5	162	19	18	286 49 24 ,15	49 ,2	171
4	3	272 2 19 ,19	46 ,6	162	20	19	287 48 32 ,48	49 ,3	172
5	4	273 1 27 ,52	46 ,8	163	21	20	288 47 40 ,81	49 ,5	172
6	5	274 0 35 ,85	47 ,0	164	22	21	289 46 59 ,14	49 ,7	173
7	6	274 59 44 ,18	47 ,1	164	23	22	290 45 57 ,47	49 ,8	174
8	7	275 58 52 ,51	47 ,3	165	24	23	291 45 5 ,80	50 ,0	174
9	8	276 58 0 ,84	47 ,5	165	25	24	292 44 14 ,13	50 ,2	175
10	9	277 57 9 ,17	47 ,6	166	26	25	293 43 22 ,46	50 ,3	175
11	10	278 56 17 ,50	47 ,8	167	27	26	294 42 30 ,79	50 ,5	176
12	11	279 55 25 ,83	48 ,0	167	28	27	295 41 39 ,12	50 ,7	177
13	12	280 54 34 ,16	48 ,1	168	29	28	296 40 47 ,45	50 ,9	177
14	13	281 53 42 ,49	48 ,3	168	30	29	297 39 55 ,78	51 ,0	178
15	14	282 22 50 ,88	48 ,5	169	31	30	298 39 4 ,11	51 ,2	178
16	15	283 51 59 ,16	48 .7	169		31	599 38 12 ,44	51 ,4	179
			November.						
1	0	299 38 12 ,44	51 ,4	179	17	16	315 22 25 ,73	54 ,1	188
2	1	300 37 20 ,77	51 ,5	179	18	17	316 23 34 ,06	54 ,2	189
3	2	301 36 29 ,10	51 ,7	180	19	18	317 22 42 ,39	54 ,4	189
4	3	302 35 37 ,43	51 ,9	181	20	19	318 21 50 ,72	54 ,6	190
5	4	303 44 45 ,76	52 ,0	181	21	20	319 20 59 ,05	54 ,7	191
6	5	304 33 54 ,09	52 ,2	182	22	21	320 10 7 ,38	54 ,9	191
7	6	305 33 2 ,42	52 ,4	182	23	22	321 19 15 ,71	55 ,1	192
8	7	306 32 10 ,75	52 ,5	183	24	23	322 18 24 ,04	55 ,2	192
9	8	307 31 19 ,09	52 ,7	184	25	24	323 17 32 ,37	55 ,4	193
10	9	308 30 27 ,42	52 ,9	184	26	25	324 16 40 ,70	55 ,6	194
11	10	309 29 35 ,75	53 ,0	185	27	26	325 15 49 ,03	55 ,8	194
12	11	310 28 44 ,08	53 ,2	185	28	27	326 14 57 ,36	55 ,9	195
13	12	311 27 52 ,41	53 ,4	186	29	28	327 14 5 ,69	56 ,1	195
14	13	312 27 0 ,74	53 ,6	187	30	29	328 13 14 ,02	56 ,3	196
15	14	313 26 9 ,07	53 ,7	187		30	329 42 22 ,35	56 ,4	197
16	15	314 25 17 ,40	53 ,9	188					

Jaar. Gewoon.	Jaar. Schrikkel.	Middelbare Lengte.	Lengte perigeum.	N.	Jaar. Gewoon.	Jaar. Schrikkel.	Middelbare Lengte.	Lengte perigeum.	N.
				December.					
1	0	320°12'22",35	56",4	197	17	16	344°58'35",64	59",1	206
2	1	330 11 30 ,68	56 ,6	197	18	17	345 57 43 ,97	59 ,3	207
3	2	331 10 39 ,01	53 ,8	198	19	18	346 56 52 ,30	59 ,5	207
4	3	332 9 47 ,35	56 ,9	198	20	19	347 56 0 ,63	59 ,6	208
5	4	333 8 55 ,68	57 ,1	199	21	20	348 55 8 ,96	59 ,8	208
6	5	334 8 4 ,01	57 ,3	199	22	21	349 54 17 ,29	60 ,0	209
7	6	335 7 12 ,34	57 ,4	200	23	22	350 53 25 ,62	60 ,1	209
8	7	336 6 20 ,67	57 ,6	201	24	23	351 52 33 ,95	60 ,3	210
9	8	337 5 29 ,00	57 ,8	201	25	24	352 51 42 ,28	60 ,5	211
10	9	338 4 37 ,33	57 ,9	202	26	25	353 50 50 ,61	60 ,6	211
11	10	339 3 45 ,66	58 ,1	202	27	26	354 49 58 ,94	60 ,8	212
12	11	340 2 53 ,99	58 ,3	203	28	27	355 49 7 ,27	61 ,0	212
13	12	341 2 2 ,32	58 ,5	204	29	28	356 48 15 ,61	61 ,2	213
14	13	342 1 10 ,65	58 ,6	204	30	29	557 47 23 ,94	61 ,3	214
15	14	343 0 18 ,98	58 ,8	205	31	30	358 46 32 ,27	61 ,5	214
16	15	343 59 27 ,31	59 ,0	205		31	359 45 40 ,60	61 ,7	215

III. Verandering der middelbare Lengte van 1u — 24u, van 1' — 60', van 1" — 60".

Uren.		Minuten.				Secunden.			
U.	Verandering.	M.	Verandering.	M.	Verandering.	S.	Verandering.	S.	Verandering.
1	2'27",85	1	0' 2",46	31	1'16",39	1	0'0",04	31	0'1",27
2	4 55 ,69	2	0 4 ,93	32	1 18 ,85	2	0 0 ,08	32	0 1 ,31
3	7 23 ,54	3	0 7 ,39	33	1 21 ,32	3	0 0 ,12	33	0 1 ,36
4	9 51 ,39	4	0 9 ,86	34	1 23 ,78	4	0 0 ,16	34	0 1 ,40
5	12 19 ,24	5	0 12 ,32	35	1 26 ,24	5	0 0 ,21	35	0 1 ,44
6	14 47 ,08	6	0 14 ,78	36	1 28 ,71	6	0 0 ,25	36	0 1 ,48
7	17 14 ,93	7	0 17 ,25	37	1 31 ,17	7	0 0 ,29	37	0 1 ,52
8	19 42 ,78	8	0 19 ,71	38	1 33 ,64	8	0 0 ,33	38	0 1 ,56
9	22 10 ,62	9	0 22 ,18	39	1 36 ,10	9	0 0 ,37	39	0 1 ,60
10	24 38 ,47	10	0 24 ,64	40	1 38 ,56	10	0 0 ,41	40	0 1 ,64
11	27 6 ,32	11	0 27 ,11	41	1 41 ,03	11	0 0 ,45	41	0 1 ,68
12	29 34 ,17	12	0 29 ,57	42	1 43 ,49	12	0 0 ,49	42	0 1 ,72
13	32 2 ,01	13	0 32 ,03	43	1 45 ,96	13	0 0 ,53	43	0 1 ,77
14	34 29 ,86	14	0 34 ,50	44	1 48 ,42	14	0 0 ,58	44	0 1 ,81
15	36 57 ,71	15	0 36 ,96	45	1 50 ,89	15	0 0 ,62	45	0 1 ,85
16	39 25 ,55	16	0 39 ,43	46	1 53 ,35	16	0 0 ,66	46	0 1 ,89
17	41 53 ,40	17	0 41 ,89	47	1 55 ,81	17	0 0 ,70	47	0 1 ,93
18	44 21 ,25	18	0 44 ,35	48	1 58 ,28	18	0 0 ,74	48	0 1 ,97
19	46 49 ,09	19	0 46 ,82	49	2 0 ,74	19	0 0 ,78	49	0 2 ,01
20	49 16 ,94	20	0 49 ,28	50	2 3 ,21	20	0 0 ,82	50	0 2 ,05
21	51 44 ,79	21	0 51 ,75	51	2 5 ,67	21	0 0 ,86	51	0 2 ,09
22	54 12 ,64	22	0 54 ,21	52	2 8 ,13	22	0 0 ,90	52	0 2 ,14
23	56 40 ,48	23	0 56 ,67	53	2 10 ,60	23	0 0 ,94	53	0 2 ,18
24	59 8 ,33	24	0 59 ,14	54	2 13 ,06	24	0 0 ,99	54	0 2 ,22
		25	1 1 ,60	55	2 15 ,53	25	0 1 ,03	55	0 2 ,26
		26	1 4 ,70	56	2 17 ,99	26	0 1 ,07	56	0 2 ,30
		27	1 6 ,53	57	2 20 ,45	27	0 1 ,11	57	0 2 ,34
		28	1 9 ,00	58	2 22 ,92	28	0 1 ,15	58	0 2 ,38
		29	1 11 ,46	59	2 25 ,38	29	0 1 ,19	59	0 2 ,42
		30	1 13 ,92	60	2 27 ,85	30	0 1 ,23	60	0 2 ,46

IV. Lengte. Middelpuntsvereffening. 1850.

Valt het argument in de rechter kolom, dan verandert de middelpunts-vereffening en hare seculaire verandering van teeken.

Middelb. anomalie.	Middelpunts-vereffening.	Secul. verand.	Middelb. anomalie.	Middelb. anomalie.	Middelpunts-vereffening.	Secul. verand.	Middelb. anomalie.
0° 0'	0° 0' 0",00	—0",00	360° 0'	29° 0'	0°56'56",62	— 8",82	331° 0
0 30	0 1 1 ,67	0 ,16	359 30	29 30	0 57 49 ,96	8 ,95	330 30'
1 0	0 2 3 ,33	0 ,32	359 0	30 0	0 58 43 ,02	9 ,09	330 0
1 30	0 3 4 ,98	0 ,48	358 30	30 30	0 59 35 ,79	9 ,22	329 30
2 0	0 4 6 ,62	0 ,64	358 0	31 0	1 0 28 ,28	9 ,36	329 0
2 30	0 5 8 ,23	0 ,80	357 30	31 30	1 1 20 ,48	9 ,49	328 30
3 0	0 6 9 ,83	0 ,96	357 0	32 0	1 2 12 ,38	9 ,62	328 0
3 30	0 7 11 ,39	1 ,12	356 30	32 30	1 3 3 ,98	9 ,76	327 30
4 0	0 8 12 ,91	1 ,27	356 0	33 0	1 3 55 ,27	9 ,89	327 0
4 30	0 9 14 ,40	1 ,43	355 30	33 30	1 4 46 ,26	10 ,02	326 30
5 0	0 10 15 ,84	1 ,59	355 0	34 0	1 5 36 ,94	10 ,15	326 0
5 30	0 11 17 ,23	1 ,75	354 30	34 30	1 6 27 ,30	10 ,28	325 30
6 0	0 12 18 ,57	1 ,91	354 0	35 0	1 7 17 ,34	10 ,40	325 0
6 30	0 13 19 ,85	2 ,07	353 30	35 30	1 8 7 ,06	10 ,53	324 30
7 0	0 14 21 ,06	2 ,23	358 0	36 0	1 8 56 ,45	10 ,66	324 0
7 30	0 15 22 ,20	2 ,39	352 30	36 30	1 9 45 ,51	10 ,78	323 30
8 0	0 16 23 ,27	2 ,54	352 0	37 0	1 10 34 ,24	10 ,91	323 0
8 30	0 17 24 ,25	2 ,70	351 30	37 30	1 11 22 ,62	11 ,03	322 30
9 0	0 18 25 ,16	2 ,86	351 0	38 0	1 12 10 ,66	11 ,15	322 0
9 30	0 19 25 ,97	3 ,02	350 30	38 30	1 12 58 ,36	11 ,27	321 30
10 0	0 20 26 ,69	3 ,17	350 0	39 0	1 13 45 ,70	11 ,39	321 0
10 30	0 21 27 ,31	3 ,33	349 30	39 30	1 14 32 ,70	11 ,51	320 30
11 0	0 22 27 ,82	3 ,49	349 0	40 0	1 15 19 ,33	11 ,63	320 0
11 30	0 23 28 ,23	3 ,64	348 30	40 30	1 16 5 ,60	11 ,75	319 30
12 0	0 24 28 ,52	3 ,80	348 0	41 0	1 16 51 ,51	11 ,87	319 0
12 30	0 25 28 ,69	3 ,95	347 30	41 30	1 17 37 ,05	11 ,98	318 30
13 0	0 26 28 ,74	4 ,11	347 0	42 0	1 18 22 ,22	12 ,10	318 0
13 30	0 27 28 ,66	4 ,26	346 30	42 30	1 19 7 ,01	12 ,21	317 30
14 0	0 28 28 ,45	4 ,42	346 0	43 0	1 19 51 ,43	12 ,32	317 0
14 30	0 29 28 ,10	4 ,57	345 30	43 30	1 20 35 ,46	12 ,43	316 30
15 0	0 30 27 ,61	4 ,73	345 3	44 0	1 21 19 ,11	12 ,54	316 0
15 30	0 31 26 ,96	4 ,88	344 30	44 30	1 22 2 ,37	12 ,65	315 30
16 0	0 32 26 ,17	5 ,03	344 0	45 0	1 22 45 ,24	12 ,76	315 0
16 30	0 33 25 ,21	5 ,18	343 30	45 30	1 23 27 ,71	12 ,87	314 30
17 0	0 34 24 ,10	5 ,34	343 0	46 0	1 24 9 ,78	12 ,98	314 0
17 30	0 35 22 ,82	5 ,49	342 30	46 30	1 24 51 ,46	13 ,08	313 30
18 0	0 36 21 ,37	5 ,64	342 0	47 0	1 25 32 ,72	13 ,19	313 0
18 30	0 37 19 ,74	5 ,79	341 30	47 30	1 26 13 ,58	13 ,29	312 30
19 0	0 38 17 ,92	5 ,94	341 0	48 0	1 26 54 ,03	13 ,39	312 0
19 30	0 39 15 ,93	6 ,09	340 30	48 30	1 27 34 ,07	13 ,49	311 30
20 0	0 40 13 ,74	6 ,24	340 0	49 0	1 28 13 ,69	13 ,59	311 0
20 30	0 41 11 ,36	6 ,38	339 30	49 30	1 28 52 ,88	13 ,69	310 30
21 0	0 42 8 ,78	6 ,53	339 0	50 0	1 29 31 ,66	13 ,79	310 0
21 30	0 43 5 ,99	6 ,68	338 30	50 30	1 30 10 ,01	13 ,88	309 30
22 0	0 44 2 ,99	6 ,83	338 0	51 0	1 30 47 ,93	13 ,98	309 0
22 30	0 44 59 ,79	6 ,98	337 30	51 30	1 31 25 ,42	14 ,07	308 30
23 0	0 45 56 ,36	7 ,12	337 0	52 0	1 32 2 ,48	14 ,17	308 0
23 30	0 46 52 ,71	7 ,26	336 30	52 30	1 32 39 ,10	14 ,26	307 30
24 0	0 47 48 ,83	7 ,41	336 0	53 0	1 33 15 ,28	14 ,35	307 0
24 30	0 48 44 ,73	7 ,55	335 30	53 30	1 33 51 ,01	14 ,44	306 30
25 0	0 49 40 ,38	7 ,70	335 0	54 0	1 34 26 ,30	14 ,53	306 0
25 30	0 50 35 ,80	7 ,84	334 30	54 30	1 35 1 ,15	14 ,61	305 30
26 0	0 51 30 ,97	7 ,98	334 0	55 0	1 35 35 ,55	14 ,70	305 0
26 30	0 52 25 ,90	8 ,12	333 30	55 30	1 36 9 ,49	14 ,78	304 30
27 0	0 53 20 ,57	8 ,26	333 0	56 0	1 36 42 ,98	14 ,87	304 0
27 30	0 54 14 ,98	8 ,40	332 30	56 30	1 37 16 ,01	14 ,95	303 30
28 0	0 55 9 ,13	8 ,54	332 0	57 0	1 37 48 ,58	15 ,03	303 0
28 30	0 56 3 ,01	8 ,68	331 30	57 30	1 38 20 ,68	15 ,11	302 30

Middelb. anomalie.	Middelpunts-vereffening.	Secul. verand.	Middelb. anomalie.	Middelb. anomalie.	Middelpunts-vereffening.	Secul. verand.	Middelb. anomalie.
58° 0′	1°38′52″,53	— 15″,19	302° 0′	89°30′	1°55′18″,26	— 17″,51	270°30′
58 30	1 39 23 ,50	15 ,26	301 30	90 0	1 55 17 ,26	17 ,50	270 0
59 0	1 39 54 ,21	15 ,34	301 0	90 30	1 55 15 ,73	17 ,49	269 30
59 30	1 40 24 ,45	15 ,41	300 30	91 0	1 55 13 ,68	17 ,49	269 0
60 0	1 40 54 ,21	15 ,49	300 0	91 30	1 55 11 ,10	17 ,48	268 30
60 30	1 41 23 ,50	15 ,56	209 30	92 0	1 55 7 ,99	17 ,46	268 0
61 0	1 41 52 ,31	15 ,63	299 0	92 30	1 55 4 ,36	17 .45	267 30
61 30	1 42 20 ,64	15 ,70	298 30	93 0	1 55 0 ,21	17 ,44	267 0
62 0	1 42 48 ,49	15 ,77	298 0	93 30	1 54 55 ,54	17 ,42	266 30
62 30	1 43 15 ,86	15 ,84	297 30	94 0	1 54 50 ,34	17 ,41	266 0
63 0	1 43 42 ,74	15 ,90	297 0	94 30	1 54 44 ,62	17 ,39	265 30
63 30	1 44 9 ,13	15 ,97	296 30	95 0	1 54 38 ,38	17 ,37	265 0
64 0	1 44 35 ,04	16 ,03	296 0	95 30	1 54 31 ,62	17 ,35	264 30
64 30	1 45 0 ,45	16 ,09	295 30	96 0	1 54 24 ,34	17 .33	264 0
65 0	1 45 25 ,37	16 ,16	295 0	96 30	1 54 16 ,54	17 ,30	263 30
65 30	1 45 49 ,80	16 ,21	294 30	97 0	1 54 8 ,22	17 ,28	263 0
66 0	1 46 13 ,73	16 ,27	294 0	97 30	1 53 59 ,39	17 ,25	262 30
66 30	1 46 37 ,16	16 ,33	293 30	98 0	1 53 50 ,04	17 ,23	262 0
67 0	1 47 0 ,10	16 ,39	293 0	98 30	1 53 40 ,18	17 ,20	261 30
67 30	1 47 22 ,53	16 ,44	292 30	99 0	1 53 29 ,80	17 ,17	261 0
68 0	1 47 44 ,47	16 ,49	292 0	99 30	1 53 18 ,91	17 ,14	260 30
68 30	1 48 5 ,89	16 ,54	291 30	100 0	1 53 7 ,51	17 ,11	260 0
69 0	1 48 26 ,82	16 ,59	291 0	100 30	1 52 55 ,59	17 ,08	259 30
69 30	1 48 47 ,24	16 ,64	290 30	101 0	1 52 43 ,17	17 ,04	259 0
70 0	1 49 7 ,15	16 ,69	290 0	101 30	1 52 30 ,24	17 ,01	258 30
70 30	1 49 26 ,55	16 ,74	289 30	102 0	1 52 16 ,80	16 ,97	258 0
71 0	1 49 45 ,44	16 ,78	289 0	102 30	1 52 2 .85	16 ,93	257 30
71 30	1 50 3 ,82	16 ,82	288 30	103 0	1 51 48 .40	16 .89	257 0
72 0	1 50 21 ,69	16 ,87	288 0	103 30	1 51 33 .45	16 ,85	256 30
72 30	1 50 39 ,04	16 ,91	287 30	104 0	1 51 18 ,00	16 ,81	256 0
73 0	1 50 55 ,88	16 ,95	287 0	104 30	1 51 2 ,04	16 ,76	255 30
73 30	1 51 12 ,20	16 ,99	286 30	105 0	1 50 45 ,59	16 ,72	255 0
74 0	1 51 28 ,01	17 ,03	286 0	105 30	1 50 28 ,64	16 ,67	254 30
74 30	1 51 43 ,30	17 ,06	285 30	106 0	1 50 11 ,19	16 ,63	254 0
75 0	1 51 58 ,07	17 ,10	285 0	106 30	1 49 53 ,25	16 ,58	253 30
75 30	1 52 12 ,32	17 ,13	284 30	107 0	1 49 34 ,82	16 ,53	253 0
76 0	1 52 26 ,05	17 ,16	284 0	107 30	1 49 15 ,90	16 ,48	252 30
76 30	1 52 39 ,26	17 ,19	283 30	108 0	1 48 56 ,48	16 ,43	252 0
77 0	1 52 51 ,94	17 ,22	283 0	108 30	1 48 36 ,58	16 ,38	251 30
77 30	1 53 4 ,11	17 ,25	282 30	109 0	1 48 16 ,19	16 ,32	251 0
78 0	1 53 15 ,75	17 ,27	282 0	109 30	1 47 55 ,32	16 ,27	250 30
78 30	1 53 26 ,87	17 ,30	281 30	110 0	1 47 33 ,97	16 ,21	250 0
79 0	1 53 37 ,47	17 ,32	281 0	110 30	1 47 12 ,13	16 ,15	249 30
79 30	1 53 47 ,54	17 ,35	280 30	111 0	1 46 49 ,82	16 ,09	249 0
80 0	1 53 57 ,08	17 ,37	280 0	111 30	1 46 27 ,03	16 ,03	248 30
80 30	1 54 6 ,10	17 ,38	279 30	112 0	1 46 3 ,76	15 ,97	248 0
81 0	1 54 14 ,59	17 ,40	279 0	112 30	1 45 40 ,03	15 ,91	247 30
81 30	1 54 22 ,56	17 ,42	278 30	113 0	1 45 15 ,82	15 ,85	247 0
82 0	1 54 29 ,99	17 .44	278 0	113 30	1 44 51 ,14	15 ,78	246 30
82 30	1 54 36 .91	17 ,45	277 30	114 0	1 44 26 ,00	15 ,72	246 0
83 0	1 54 43 ,29	17 ,46	277 0	114 30	1 44 0 ,39	15 ,65	245 30
83 30	1 54 49 ,15	17 ,48	276 30	115 0	1 43 34 ,32	15 ,58	245 0
84 0	1 54 54 ,47	17 ,48	276 0	115 30	1 43 7 ,79	15 ,51	244 30
84 30	1 54 59 ,28	17 ,49	275 30	116 0	1 42 40 ,80	15 ,44	244 0
85 0	1 55 3 ,55	17 ,50	275 0	116 30	1 42 13 ,35	15 ,37	243 30
85 30	1 55 7 ,29	17 ,51	274 30	117 0	1 41 45 ,45	15 ,30	243 0
86 0	1 55 10 ,51	17 ,51	274 0	117 30	1 41 17 ,10	15 ,22	242 30
86 30	1 55 13 ,20	17 ,52	273 30	118 0	1 40 48 ,30	15 ,15	242 0
87 0	1 55 15 ,36	17 ,52	273 0	118 30	1 40 19 ,05	15 ,07	241 30
87 30	1 55 17 ,00	17 ,52	272 30	119 0	1 39 49 ,36	15 ,00	241 0
88 0	1 55 18 ,10	17 ,52	272 0	119 30	1 39 19 ,23	14 ,92	240 30
88 30	1 55 18 ,68	17 ,52	271 30	120 0	1 38 48 ,65	14 ,84	240 0
89 0	1 55 18 ,73	17 ,51	271 0	120 30	1 38 17 ,64	14 ,76	239 30

Middelb. anomalie.	Middelpunts-vereffening.	Secul. verand.	Middelb. anomalie.	Middelb. anomalie.	Middelpunts-vereffening.	Secul. verand.	Middelb. anomalie.
121° 0'	1°37'46'',20	— 14'',68	239° 0'	150°30'	0°55'45'',62	— 8'',31	209°30'
121 30	1 37 14 ,32	14 ,59	238 30	151 0	0 54 53 ,61	8 ,18	209 0
122 0	1 36 42 ,01	14 ,51	238 0	151 30	0 54 1 ,36	8 ,05	208 30
122 30	1 36 9 ,28	14 ,43	237 30	152 0	0 53 8 ,87	7 ,92	208 0
123 0	1 35 36 ,12	14 ,34	237 0	152 30	0 52 16 ,15	7 ,79	207 30
123 30	1 35 2 ,54	14 ,26	236 30	153 0	0 51 23 ,21	7 ,65	207 0
124 0	1 34 28 ,54	14 ,17	236 0	153 30	0 50 30 ,05	7 ,52	206 30
124 30	1 33 54 ,13	14 ,08	235 30	154 0	0 49 36 ,66	7 ,39	206 0
125 0	1 33 19 ,30	13 ,99	235 0	154 30	0 48 43 ,07	7 ,25	205 30
125 30	1 32 44 ,05	13 ,90	234 30	155 0	0 47 49 ,26	7 ,12	205 0
126 0	1 32 8 ,41	13 ,81	234 0	155 30	0 46 55 ,25	6 ,99	204 30
126 30	1 31 32 ,35	13 ,72	233 30	156 0	0 46 1 ,03	6 ,85	204 0
127 0	1 30 55 ,90	13 ,63	233 0	156 30	0 45 6 ,61	6 ,72	203 30
127 30	1 30 19 ,04	13 ,53	232 30	157 0	0 44 12 ,01	6 ,58	203 0
128 0	1 29 41 ,79	13 ,44	232 0	157 30	0 43 17 ,21	6 ,44	202 30
128 30	1 29 4 ,14	13 ,34	231 30	158 0	0 42 22 ,22	6 ,31	202 0
129 0	1 28 26 ,10	13 ,25	231 0	158 30	0 41 27 ,05	6 ,17	201 30
129 30	1 27 47 ,67	13 ,15	230 30	159 0	0 40 31 ,70	6 ,03	201 0
130 0	1 27 8 ,86	13 ,05	230 0	159 30	0 39 36 ,18	5 ,89	200 30
130 30	1 26 29 ,66	12 ,94	229 30	160 0	0 38 40 ,49	5 ,76	200 0
131 0	1 25 50 ,09	12 ,85	229 0	160 30	0 37 44 ,63	5 ,62	199 30
131 30	1 25 10 ,14	12 ,75	228 30	161 0	0 36 48 ,61	5 ,48	199 0
132 0	1 24 29 ,82	12 ,64	228 0	161 30	0 35 52 ,43	5 ,34	198 30
132 30	1 23 49 ,12	12 ,54	227 30	162 0	0 34 56 ,09	5 ,20	198 0
133 0	1 23 8 ,06	12 ,44	227 0	162 30	0 33 59 ,61	5 ,06	197 30
133 30	1 22 26 ,64	12 ,33	226 30	163 0	0 33 2 ,97	4 ,92	197 0
134 0	1 21 44 ,86	12 ,23	226 0	163 30	0 32 6 ,20	4 ,78	196 30
134 30	1 21 2 ,72	12 ,12	225 30	164 0	0 31 9 ,29	4 ,63	196 0
135 0	1 20 20 ,22	12 ,01	225 0	164 30	0 30 12 ,24	4 ,49	195 30
135 30	1 19 37 ,37	11 ,90	224 30	165 0	0 29 15 ,07	4 ,35	195 0
136 0	1 18 54 ,18	11 ,80	224 0	165 30	0 28 17 ,76	4 ,21	194 30
136 30	1 18 10 ,64	11 ,69	223 30	166 0	0 27 20 ,34	4 ,07	194 0
137 0	1 17 26 ,76	11 ,57	223 0	166 30	0 26 22 ,80	3 ,92	193 30
137 30	1 16 42 ,54	11 ,46	222 30	167 0	0 25 25 ,14	3 ,78	193 0
138 0	1 15 57 ,99	11 ,35	222 0	167 30	0 24 27 ,38	3 ,64	192 30
138 30	1 15 13 ,11	11 ,24	221 30	168 0	0 23 29 ,51	3 ,49	192 0
139 0	1 14 27 ,90	11 ,12	221 0	168 30	0 22 31 ,54	3 ,35	191 30
139 30	1 13 42 ,36	11 ,01	220 30	169 0	0 21 33 ,47	3 ,21	191 0
140 0	1 12 56 ,50	10 ,89	220 0	169 30	0 20 35 ,32	3 ,06	190 30
140 30	1 12 10 ,33	10 ,78	219 30	170 0	0 19 37 ,07	2 ,92	190 0
141 0	1 11 23 ,84	10 ,66	219 0	170 30	0 18 38 ,74	2 ,77	189 30
141 30	1 10 37 ,04	10 ,54	218 30	171 0	0 17 40 ,32	2 ,63	189 0
142 0	1 9 49 ,94	10 ,42	218 0	171 30	0 16 41 ,83	2 ,48	188 30
142 30	1 9 2 ,53	10 ,30	217 30	172 0	0 15 43 ,28	2 ,34	188 0
143 0	1 8 14 ,82	10 ,18	217 0	172 30	0 14 44 ,65	2 ,19	187 30
143 30	1 7 26 ,81	10 ,06	216 30	173 0	0 13 45 ,96	2 ,05	187 0
144 0	1 6 38 ,51	9 ,94	216 0	173 30	0 12 47 ,21	1 ,90	186 30
144 30	1 5 49 ,92	9 ,82	215 30	174 0	0 11 48 ,40	1 ,76	186 0
145 0	1 5 1 ,05	9 ,70	215 0	174 30	0 10 49 ,55	1 ,61	185 30
145 30	1 4 11 ,89	9 ,58	214 30	175 0	0 9 50 ,65	1 ,46	185 0
146 0	1 3 22 ,46	9 ,45	214 0	175 30	0 8 51 ,70	1 ,32	184 30
146 30	1 2 32 ,75	9 ,33	213 30	176 0	0 7 52 ,72	1 ,17	184 0
147 0	1 1 42 ,77	9 ,20	213 0	176 30	0 6 53 ,70	1 ,02	183 30
147 30	1 0 52 ,52	9 ,08	212 30	177 0	0 5 54 ,66	0 ,88	183 0
148 0	1 0 2 ,01	8 ,95	212 0	177 30	0 4 55 ,59	0 ,73	182 30
148 30	0 59 11 ,24	8 ,82	211 30	178 0	0 3 56 ,49	0 ,59	182 0
149 0	0 58 20 ,21	8 ,70	211 0	178 30	0 2 57 ,39	0 ,44	181 30
149 30	0 57 28 ,93	8 ,57	210 30	179 0	0 1 58 ,26	0 ,29	181 0
150 0	0 56 37 ,40	8 ,44	210 0	179 30	0 0 59 ,13	0 ,15	180 30

V. Lengte. Maansnutatie.

De nutatie is negatief als het argument N *in de rechter kolom wordt afgelezen.*

N.	Nutatie.	N.	N.	Nutatie.	N.	N.	Nutatie.	N.
0	+ 0″,00 —	4000	675	+ 14″,89 —	3325	1350	+ 14″,90 —	2650
25	0 ,66	3975	700	15 ,22	3300	1375	14 ,54	2625
50	1 ,32	3950	725	15 ,52	3275	1400	14 ,16	2600
75	1 ,98	3925	750	15 ,80	3250	1425	13 ,76	2575
100	2 ,64	3900	775	16 ,06	3225	1450	13 ,33	2550
125	3 ,29	3875	800	16 ,30	3200	1475	12 ,88	2525
150	3 ,94	3850	825	16 ,51	3175	1500	12 ,41	2500
175	4 ,58	3825	850	16 ,69	3150	1525	11 ,93	2475
200	5 ,21	3800	875	16 ,85	3125	1550	11 ,42	2450
225	5 ,84	3775	900	16 ,99	3100	1575	10 ,89	2425
250	6 ,46	3750	925	17 ,10	3075	1600	10 ,34	2400
275	7 ,07	3725	950	17 .18	3050	1625	9 ,78	2375
300	7 .67	3700	975	17 ,24	3025	1650	9 ,20	2350
325	8 ,26	3675	1000	17 ,26	3000	1675	8 ,61	2d25
350	8 ,84	3650	1025	17 ,27	2975	1700	8 ,01	2300
375	9 ,40	3625	1050	17 ,24	2950	1725	7 ,39	2275
400	9 ,95	3600	1075	17 ,19	2925	1750	6 ,75	2250
425	10 ,49	3575	1100	17 ,12	2900	1775	6 ,11	2225
450	11 ,01	3550	1125	17 ,01	2875	1800	5 ,46	2200
475	11 ,51	3525	1150	16 ,88	2850	1825	4 ,79	2175
500	12 ,00	3500	1175	16 ,72	2825	1850	4 ,12	2150
525	12 ,47	3475	1200	16 ,54	2800	1875	3 ,44	2125
550	12 ,92	3450	1225	16 ,33	2775	1900	2 ,77	2100
575	13 ,36	3425	1250	16 ,10	2750	1925	2 ,08	2075
600	13 ,77	3400	1275	15 ,84	2725	1950	1 ,39	2050
625	14 ,16	3375	1300	15 ,55	2700	1975	0 ,69	2025
650	14 ,54	3350	1325	15 ,24	2675	2000	0 ,00	2000

VI. Lengte. Zonsnutatie.

Het teeken te nemen aan die zijde, waar het argument ⊙ (*Lengte der zon*) *wordt afgelezen.*

⊙		Nutatie.	⊙		⊙		Nutatie.	⊙	
0°	180°	— 0″,00 +	180°	360°	50°	230°	— 1″,24 +	130°	310°
5	185	0 ,22	175	355	55	235	1 ,19	125	305
10	190	0 ,43	170	350	60	240	1 .10	120	300
15	195	0 ,63	165	345	65	245	0 ,97	115	295
20	200	0 ,81	160	340	70	250	0 ,81	110	290
25	205	0 ,97	155	335	75	255	0 ,63	105	285
30	210	1 ,10	150	330	80	260	0 ,43	100	280
35	215	1 ,19	145	325	85	265	0 ,22	95	275
40	220	1 ,24	140	320	90	270	0 ,00	90	270
45	225	1 ,26	135	315					

VII. Helling der ecliptica. Middelbare Helling.

Jaar.	Helling.	Jaar.	Helling.	Jaar.	Helling.
1860	23°27′27″,07	1880	23°27′17″,55	1900	22°27′ 8″,03
1870	23 27 22 ,31	1890	23 27 12 ,79	1900	23 27 3 ,27

Verandert in 1 jaar — 0″,48.

VIII. Helling der ecliptica. Maansnutatie.

N.	Nutatie.	N.	N.	Nutatie.	N.	N.	Nutatie.	N.
0	+ 9″,14	4000	675	+ 4″,56	3325	1350	— 4,″78	2650
25	9 ,13	3975	700	4 ,24	3300	1375	5 ,09	2625
50	9 ,11	3950	725	3 ,92	3275	1400	5 ,40	2600
75	9 ,08	3925	750	3 ,60	3250	1425	5 ,69	2575
100	9 ,03	3900	775	3 ,26	3225	1450	5 ,98	2550
125	8 ,97	3875	800	2 ,93	3200	1475	6 ,26	2525
150	8 ,90	3850	825	2 ,58	3175	1500	6 ,53	2500
175	8 ,81	3825	850	2 ,24	3150	1525	6 ,79	2475
200	8 ,71	3800	875	1 ,88	3125	1550	7 ,03	2450
225	8 ,59	3775	900	1 ,53	3100	1575	7 ,27	2425
250	8 ,46	3750	925	1 ,17	3075	1600	7 ,50	2400
275	8 ,32	3725	950	0 ,81	3050	1625	7 ,71	2375
300	8 ,17	3700	975	0 ,45	3025	1650	7 ,91	2350
325	8 ,01	3675	1000	+ 0 ,09	3000	1675	8 ,10	2325
350	7 ,83	3650	1025	— 0 ,27	2975	1700	8 ,28	2300
375	7 ,64	3625	1050	0 ,64	2950	1725	8 ,44	2275
400	7 ,44	3600	1075	1 ,00	2925	1750	8 ,59	2250
425	7 ,23	3575	1100	1 ,36	2900	1775	8 ,73	2225
450	7 ,01	3550	1125	1 ,72	2875	1800	8 ,85	2200
475	6 ,77	3525	1150	2 ,08	2850	1825	8 ,96	2175
500	6 ,53	3500	1175	2 ,43	2825	1850	9 ,06	2150
525	6 ,27	3475	1200	2 ,78	2800	1375	9 ,14	2125
550	6 ,01	3450	1225	3 ,13	2775	1900	9 ,20	2100
575	5 ,74	3425	1250	3 ,47	2750	1925	9 ,25	2075
600	5 ,45	3400	1275	3 ,81	2725	1950	9 ,29	2050
625	5 ,16	3375	1300	4 ,14	2700	1975	9 ,31	2025
650	4 ,86	3350	1325	4 ,46	2675	2000	9 ,32	2000
675	4 ,56	3325	1350	4 ,78	2650			

IX. Helling der ecliptica. Zonsnutatie.

⊙		Nutatie.	⊙		⊙		Nutatie.	⊙	
0°	180°	+ 0″,55	180°	360°	50°	230°	— 0″,10	130°	310°
5	185	0 ,54	175	355	55	235	0 ,19	125	305
10	190	0 ,52	170	350	60	240	0 ,27	120	300
15	195	0 ,47	165	345	65	245	0 ,35	115	295
20	200	0 ,42	160	340	70	250	0 ,42	110	290
25	205	0 ,35	155	335	75	255	0 ,47	105	285
30	210	0 ,27	150	330	80	260	0 ,52	100	280
35	215	0 ,19	145	325	85	265	0 ,54	95	275
40	220	0 ,10	140	320	90	270	0 ,55	90	270
45	225	0 ,00	135	315					

ZESDE HOOFDSTUK.

REFLEXIE-WERKTUIGEN.

I. GEWONE REFLEXIE-WERKTUIGEN

a. ALGEMEENE BESCHOUWINGEN.

De reflexie- of spiegel-instrumenten dienen hoofdzakelijk tot het meten van hoeken tusschen ver verwijderde voorwerpen, zooals tusschen de hemellichten onderling, tusschen deze en de kim, enz., ten einde met behulp van die waarnemingen de plaats van het schip te bepalen.

Het eenvoudigste werktuig, dat men tot het meten van hoeken zou kunnen bezigen, indien het schip onbewegelijk stil lag, zoude een verdeelde cirkel zijn, met welks vlakte, een om het middelpunt beweegbare kijker evenwijdig liep. Bracht men dien cirkel in het vlak, dat door het oog en tevens door twee voorwerpen gaat, waartusschen men den hoek wil meten, en richtte men den kijker beurtelings op het eene en op het andere voorwerp, dan zou het verschil der aflezingen van de verdeeling des cirkels, waarmede de richting des kijkers overeenkwam, bij onveranderden stand van het werktuig, den gevraagden hoek geven.

Het beurtelings richten van den kijker op het eene en op het andere voorwerp en de onveranderde stand, dien het werktuig onder de meting moet innemen, leveren tot dusverre een onoverkomelijk bezwaar op, om den verlangden hoek, aan boord van een schip, op deze wijze met de vereischte nauwkeurigheid te bepalen, en men zal dus een werktuig behoeven, dat in weerwil der beweging van het schip tot een nauwkeurige hoekmeting in staat stelt.

De reflexie-instrumenten, zooals die thans aan boord van de schepen gebezigd worden, voldoen aan bovengenoemden eisch ten volle. Zij dragen dien naam, omdat hunne inrichting berust op eenige bekende eigenschap-

pen van de terugkaatsing of reflexie van het licht op platte spiegels, die wij ons hier kortelijk willen herinneren.

Wij weten, dat wanneer een lichtstraal op een platte spiegelende vlakte in zeker punt valt, hij zoodanig wordt teruggekaatst:

1°. dat de invallende straal, de normaal in het bedoelde punt en de teruggekaatste straal allen in hetzelfde platte vlak liggen;

2°. dat de hoeken, die de genoemde stralen met de normaal maken, aan elkander gelijk zijn.

Naar aanleiding van deze eigenschappen zou men op de volgende wijze den hoek tusschen twee voorwerpen kunnen bepalen. Laat A en B, fig. 104, de bedoelde voorwerpen zijn, O het oog en ab een spiegel, die in de richting van de lijn OB loodrecht staat op het vlak AOB. Draait men vervolgens den spiegel tot in den stand $a'b'$, om een as C, die ook loodrecht is op het vlak AOB, dan zal het oog, wanneer de spiegel den hoek ACB middendoor deelt, het voorwerp A volgens de richting OB zien. Kan het oog te gelijker tijd het voorwerp B langs of over den spiegel heen ontwaren, dan vertoonen zich beide voorwerpen, het een rechtstreeks, het andere door terugkaatsing in dezelfde richting. Is verder aan dien spiegel een wijzer CD op onveranderlijke wijze verbonden, dan zal deze bij den tweeden stand des spiegels de richting CD' aannemen, en men zal, indien de wijzer zich langs een verdeelden boog beweegt, het aantal graden kunnen aflezen, dat hij of de spiegel van den een tot den anderen stand heeft doorloopen. Klaarblijkelijk zal dat aantal de helft zijn van het aantal graden, dat de gevraagde hoek bevat. Wij hebben namelijk:

$$\text{hoek } b'CO = \text{hoek } a'CB = \text{hoek } a'CA;$$

en dewijl

$$\text{hoek } ACB = 2 \text{ hoek } b'CO = 2 \text{ hoek } DCD'$$

is, zoo is ook

$$\tfrac{1}{2} ACB = DCD'.$$

Ook een dergelijk werktuig zou echter aan boord van een schip niet gebruikt kunnen worden, dewijl bij de geringste beweging van den waarnemer, de beelden uit elkander zullen wijken, en hierdoor alzoo niet voldaan wordt aan den eisch, dat beide beelden in één richting gezien, met elkander in aanraking moeten blijven, zelfs dan wanneer het geheele werktuig een kleine verplaatsing ondergaat. Verbindt men echter aan een dergelijk werktuig een tweeden spiegel de, fig. 105, zoodanig, dat de lichtstraal uit A op den spiegel E vallende, naar den spiegel de gekaatst en door dezen naar het oog O wordt gericht, dan zal, bijaldien de beelden der voorwerpen A en B in de richting OB samenvallen, deze overeenkomst niet verbroken worden, ook niet als het geheele

werktuig een verplaatsing of liever draaiing in het vlak *OAB* ondergaat. Wij komen later op deze bijzonderheid terug, en willen eerst nagaan, op welke wijze de hoek tusschen twee voorwerpen, door de verbinding van twee spiegels, kan gemeten worden.

Denken wij ons twee platte spiegels *ab* en *de*, fig. 105, met hunne spiegelvlakken naar elkander toegekeerd en beide loodrecht op hetzelfde platte vlak. De spiegel *ab*, die geheel verfoelied is, kan om een as *E*, die insgelijks loodrecht op het genoemde vlak staat, gedraaid worden, terwijl de spiegel *de*, waarvan slechts de helft, die aan het platte vlak grenst, verfoelied is, een vasten stand heeft. Denken wij ons verder door de afscheiding van het verfoeliede en onverfoeliede deel van den spiegel *de* een tweede plat vlak, evenwijdig aan het eerstgenoemde, dan zal de lichtstraal, die in het tweede vlak op een der beide spiegels valt, dit vlak, na te zijn teruggekaatst, niet verlaten, omdat het de beide spiegels rechthoekig snijdt.

Is *c* de normaal op den spiegel *ab* en *g* de normaal op den spiegel *de*, dan zal de lijn *EG* beschouwd kunnen worden als een lichtstraal, afkomstig van een punt *B*, dat zoodanig ten opzichte van de normaal *c* is gelegen, dat hoek $BEc =$ hoek cEG. Deze lichtstraal wordt op den spiegel *de* andermaal teruggekaatst en wel in een richting *GO*, zoodat hoek $EGg = gGO$ is. De vaste stand van den spiegel *de* ten opzichte van de richting *EG* maakt, dat ook de richting *GO* standvastig is, welke laatste wij door de optische as van den kijker *K* aanwijzen.

Zijn nu *A* en *B* twee voorwerpen, waartusschen men den hoek wil meten, en *O* het oog van den waarnemer, dan kan men door het onverfoeliede gedeelte van den spiegel *de* heen, den kijker richten op het voorwerp *B* en het werktuig vervolgens om de lijn *OGB* draaien, totdat het vlak, dat de beide spiegels rechthoekig snijdt, door het tweede voorwerp *A* gaat. Draait men vervolgens den spiegel *ab* om de as *E*, dan blijft de normaal in dat vlak en op het oogenblik, waarop hij den hoek *BEG* middendoor deelt, zal de lichtstraal *BE* op *ab*, volgens *EG*, worden teruggekaatst en door den spiegel *de*, volgens *GO*, in het oog gevoerd worden, zoodat de waarnemer het voorwerp *B* rechtstreeks en te gelijker tijd het dubbel gereflecteerde beeld daarvan in de richting *OGB* ziet samenkomen. Draait men daarna den spiegel *ab* tot in den stand $a''b''$, zoodat de normaal *c* in den stand c'' gekomen, den hoek *AEG* middendoor deelt, dan zal het beeld van *A* het oog treffen, volgens *EG* en *GO*, en de waarnemer zal mitsdien de beelden van *B* en *A*, het eerste rechtstreeks, het tweede door dubbele reflexie zien samenvallen. De hoek, dien de normaal c'' met zijn vroegeren stand *c* maakt, is klaarblijkelijk gelijk aan den hoek, dien de spiegel heeft doorloopen, en dewijl

$$\text{hoek } AEB = \text{hoek } AEG - \text{hoek } BEG$$
$$= 2\,c''EG - 2\,cEG = 2\,c''Ec$$

is, zoo stelt de bedoelde hoek juist de helft van den te meten hoek voor. Is dan aan den spiegel ab een wijzer op onveranderlijke wijze zoodanig verbonden, dat hij zich langs een verdeelden boog LF' kan bewegen, waarvan het middelpunt der verdeeling gelegen is in de as, waarom de wijzer draait, dan zal men door de aflezing der verdeeling, waarmede de wijzer in de beide standen van den spiegel overeenkomt, het aantal verdeelingen kunnen bepalen, dat de spiegel heeft doorloopen. Zooals wij hierboven zagen, is het dubbel van het gevonden aantal, het aantal verdeelingen, dat de te meten hoek bevat.

Het is geenszins noodzakelijk, dat de doorsnede van het spiegelvlak in twee standen door het middelpunt van den verdeelden boog gaat. Ook de punten E en G, waarin de lichtstralen de spiegels treffen, behoeven niet juist in het midden der spiegels te vallen, terwijl nog in het oog moet worden gehouden, dat de voorwerpen A en B niet door een enkelen lichtstraal worden gezien, maar door een bundel stralen, die van A en B uitgaande door het oog of eerst door het objectief-glas van den kijker worden opgevangen.

Wanneer het voorwerp B met zijn dubbel gereflecteerd beeld samenvalt, dan vormen de lichtstralen BE en BO, met elkander een hoek α, die de spiegel-parallaxis genoemd wordt. De grootte van dien hoek is lichtelijk te berekenen, als men den afstand $BE = a$, den afstand der beide spiegels $EG = f$ en den standvastigen hoek $EGO = 2\, EGg = 2\,\beta$ kent. In den driehoek BEG is namelijk

$$\sin 2\beta : \sin\alpha = BE : EG$$

waaruit

$$\sin\alpha = \frac{EG}{BE}\sin 2\beta = \frac{f}{a}\sin 2\beta.$$

Uit deze formule blijkt, dat voor hetzelfde werktuig, de grootte van α met den afstand a verandert. Wordt a grooter, dan neemt α af en wordt a met betrekking tot f oneindig groot, zooals het geval is voor een ver verwijderd punt B', dan wordt α nul, d. i. de lichtstralen $B'E$ en $B'O$ loopen evenwijdig. De verandering van β, naar gelang de terugkaatsing EG in een punt valt, dat dichter bij d of e gelegen is, en ook de verschillende waarden, die EG of f daarbij kunnen hebben, oefenen geen invloed uit op de waarde van α, indien slechts a niet te klein is.

Verlengen wij de normalen c en g tot dat zij elkander in een punt H snijden, dan is, als wij hoek EHG, φ noemen:

$$\varphi = EGg - GEH = \tfrac{1}{2}(EGO - GEB) = \tfrac{1}{2}\alpha$$

en men ontwaart, dat de hoek α ook wordt voorgesteld door den dubbelen hoek, dien de normalen der beide spiegels, of wat op hetzelfde

neêrkomt, dien de beide spiegels, verlengd zijnde, met elkander vormen. Voor $\alpha = 0$, wordt ook $\varphi = 0$, en de spiegels zullen dus voor een op oneindigen afstand gelegen punt B' evenwijdig zijn, als de beelden daarvan elkander dekken. Heeft in dat geval de spiegel ab den stand $a'b'$, en komt de wijzer N met het nulpunt der verdeeling van den boog FL overeen, dan zal de wijzer, voor een dichter bijgelegen punt B op N' staan, als de beelden van B elkander bedekken, en men zal dus den hoek $\varphi = \frac{1}{2}\alpha$ op het werktuig kunnen aflezen, als de verdeeling ook ter rechterzijde van het nulpunt naar N' is voortgezet.

Valt bij den evenwijdigen stand der spiegelvlakken, dus in de veronderstelling dat het punt B op oneindigen afstand gelegen is, het nulpunt van den wijzer N niet samen met het nulpunt van de verdeeling, dan noemt men die afwijking collimatie-fout, en het bedrag van die fout wordt in het veronderstelde geval (oneindigen afstand van het voorwerp) onmiddellijk op de verdeeling afgelezen. Is het voorwerp, waarvan het rechtstreeksche en het teruggekaatste beeld elkander juist bedekken, niet op oneindigen afstand gelegen, dan vermengt zich de collimatie-fout met de spiegel-parallaxis en leest men op de verdeeling de algebraïsche som van het bedrag van beide fouten af. De som van beide fouten wordt index-fout genoemd, terwijl de index-correctie gelijk is aan de index-fout, genomen met een omgekeerd teeken. Heeft men dus te doen met voorwerpen die op oneindigen of zeer grooten afstand gelegen zijn, dan is de collimatie-fout gelijk aan de index-fout, omdat in dat geval de spiegel-parallaxis nul is en alzoo de index-correctie gelijk aan de collimatie-fout, nadat het algebraïsche teeken is omgekeerd.

Gaan wij thans over tot het onderzoek, aangaande den invloed van een kleine verplaatsing van het werktuig op de meting, en beschouwen wij daarbij tevens de omstandigheid, dat de spiegel ab niet om de as E, maar om eenig ander punt draait, en dat de lichtstralen, die den spiegel treffen, niet in het punt E samenkomen, maar in verschillende punten van den spiegel vallen.

Wanneer in het algemeen EG en EH, fig. 106, twee platte spiegels zijn, waardoor een lichtstraal AB onder een hoek α in B teruggekaatst wordt naar C, en van daar onder een hoek β in een richting CD, dan zal de hoek F, dien de invallende en de teruggekaatste straal met elkander maken, alleen van den hoek E afhangen. Wij hebben namelijk

in driehoek FCB . . . . $F + 2\alpha + 2\beta = 180°$

„ „ ECB $E + \alpha + \beta = 180$ dus $2E + 2\alpha + 2\beta = 360°$

$$2E - F = 180°$$

of

$$F = 2E - 180°.$$

Een bundel evenwijdige lichtstralen, die in de richting van AB op

den spiegel EG valt, zal na in B en C te zijn teruggekaatst, als een bundel evenwijdige lichtstralen in de richting van CD uittreden, en deze richting zal onveranderd blijven, zoolang de hoek E geen verandering ondergaat, welken stand de spiegelvlakken te zamen ook mogen hebben.

Bij een verplaatsing van de spiegels gezamenlijk, veranderen α en β, doch immer zoodanig, dat

$$\alpha + \beta = 180^0 - E$$

blijft, en dus

$$\triangle \alpha + \triangle \beta = 0$$

is.

Passen wij deze opmerking toe op het beschreven werktuig. Zij daartoe in fig. 107, G de beweegbare, H de vaste spiegel, het oog in D en een ver verwijderd voorwerp in de richting van DK, dan is de hoek $BFK = \delta$, dien de verlengde lichtstraal AB met de richting DK maakt, als de beelden van de voorwerpen K en A elkander bedekken, gelijk aan den dubbelen hoek φ, dien de spiegels, verlengd zijnde, met elkander vormen. Noemen wij namelijk den hoek, waaronder de lichtstraal AB den spiegel G treft, α en β den hoek, dien de lichtstraal BC met de normaal op H in het punt C maakt, dan is in driehoek ECB

$$180^0 = \alpha + \beta + 90^0 + \varphi$$
$$180^0 = 2\alpha + 2\beta + 2\varphi$$

en in driehoek CBF

$$180^0 = 2\alpha + 2\beta + \delta$$

waaruit

$$\delta = 2\varphi.$$

Ziet dus het oog in D, door den spiegel H, naar K, en ontwaart het tevens het dubbel gereflecteerde beeld van A in dezelfde richting, zoo zullen, dewijl δ alleen van φ afhangt, de bedoelde beelden bij elkander blijven, al ondergaat ook het geheele werktuig een verplaatsing. Steeds is

$$\varphi = 90^0 - \beta - \alpha$$
$$0 = - \triangle \beta - \triangle \alpha$$

als φ standvastig is.

Bij het meten van den hoek tusschen twee voorwerpen A en K, bepaalt men dus den hoek $\delta = 2\varphi$, welken de straal ABF in F met de lijn DK maakt. Het punt F, dat in de figuur tusschen C en D geteekend is, kan ver achter het oog D vallen, hetgeen plaats heeft als de hoeken δ of φ zeer klein zijn.

Meet men achtereenvolgens de hoeken δ en δ', die de stralen AF en $A'F'$, afkomstig van twee verschillende voorwerpen A en A', fig. 108, met de richting DK maken, dan is

$$\delta - \delta' = I$$

en men ontwaart, dat de hoek, gevormd door de genoemde stralen, gelijk is aan het dubbel van de verplaatsing des wijzers langs den verdeelden rand.

Stellen wij nu dat de as, waarom de spiegel draait, in het punt M ligt, dan ontstaat de vraag, waar het punt I gevormd wordt. Tot de beantwoording van deze vraag merken wij op, dat het middelpunt der verdeeling M, waarom de spiegel draait, nimmer ver van den spiegel ligt, en dat de stralen AF en $A'F'$ door den spiegel gaan in punten, die minder dan de halve lengte uit het midden des spiegels verwijderd zijn. Het punt I zal dus in het algemeen zeer nabij het punt M liggen, en zoodra de voorwerpen zich op meer dan een paar scheepslengten van den waarnemer bevinden, zal men veilig het punt M als de plaats van I kunnen aanmerken. Bij hemelsche voorwerpen is die onderscheiding geheel overtollig, en zal ook het oog voor het middelpunt van meting kunnen gehouden worden. In dit geval toch, en zelfs bij aardsche voorwerpen, zijn de stralen, die uit A of A' op den spiegel vallen, als evenwijdige bundels te beschouwen.

Men kan bij deze beschouwing voor een der beide voorwerpen, b. v. voor A, het voorwerp K kiezen. Indien K niet zoo ver verwijderd is, dat de lijn KI, naar het midden des beweegbaren spiegels getrokken, een onmerkbaar kleinen hoek met KD vormt, dan zal de hoek δ'', dien men meet, als men het rechtstreeks geziene beeld van K met zijn dubbel gereflecteerd beeld in aanraking brengt, negatief zijn. Brengt men vervolgens het beeld van A' met K in overeenstemming, dan is hoek $A'IK = \delta' - (-\delta'') = \delta' + \delta''$ en die hoek wordt dus weder gemeten door den boog, dien de wijzer heeft doorloopen.

Uit deze opmerking vloeit voort, dat men bij het meten van den hoek tusschen voorwerpen, die niet ver af zijn gelegen, immer de index-correctie moet bepalen, met behulp van het voorwerp, waarnaar onder de meting rechtstreeks wordt gezien. De gemeten hoek zal dan zijn hoekpunt hebben in het middelpunt van den verdeelden boog, of daar zoo nabij zijn, dat de fout verwaarloosd kan worden. Bij de meting van hoeken tusschen bakens, houde men dus altijd het genoemde middelpunt op de plaats van het baken.

De reflexie-instrumenten, bij de Nederlandsche Marine in gebruik, worden onderscheiden in reflexie-instrumenten eerste en tweede soort. Tot de eerste soort behooren de prisma-cirkel en de prisma-sextant, voorheen van PISTOR en MARTINS, door de makers patent-cirkel en patent-sextant genoemd, thans door de firma WEGENER te Berlijn geleverd; tot de tweede soort behooren de spiegel-sextant en de spiegel-octant.

b. DE SPIEGEL-SEXTANT.

De spiegel-sextant, uitgevonden door NEWTON, doch het eerst bekend gemaakt door HADLEY in 1731, bestaat in zijn tegenwoordigen vorm uit een metalen cirkel-sector ABC, fig. 109, waarvan de boog 60° à 70°

omvat. In het middelpunt *D* beweegt zich een wijzer *DE*, alhidade genoemd, om een as, die loodrecht staat op het vlak *ABC*. Op de alhidade is de groote spiegel *F* zoodanig bevestigd, dat hij de bewegingen der alhidade volgende, steeds loodrecht blijft op het vlak van het werktuig.

De andere spiegel *G*, kimspiegel geheeten, insgelijks loodrecht op het vlak *ABC*, is onbewegelijk. Alleen de onderste helft van dezen spiegel is verfoelied; zijn spiegelend vlak is naar dat van den grooten spiegel gekeerd.

Door den straal *AC* van den sector *ACB* gaat een stang, waaraan is bevestigd de ring *H*. In dezen ring, die daartoe van een moer is voorzien, wordt de kijker, die bij het werktuig behoort, zoodanig geschroefd, dat de as des kijkers evenwijdig loopt aan het vlak *ABC* en gericht is op het midden van den spiegel *G*. Met behulp van de genoemde stang, kan de kijker op en neder bewogen worden, zoodat de as des kijkers, steeds evenwijdig aan het vlak van het werktuig, dit meer of minder kan naderen.

De boog *BC*, waarin een smalle, verdeelde, zilveren of platina boog is ingelaten, draagt den naam van limbus of ook wel dien van rand. Volgens de eigenschap, die wij vroeger hebben leeren kennen, dat de boog of hoek, door de alhidade doorloopen, de helft is van den te meten hoek, zoude men, wanneer de rand een verdeeling in graden bevatte, het dubbel van de aflezing daarvan moeten nemen, om de grootte van den bedoelden hoek te kennen. Men ontgaat dit bezwaar door de halve graden als geheelen te tellen, en in dien geest de halve graden met nummers te merken, zoodat de wijzer, indien hij b. v. den boog van 0° tot 10° heeft doorloopen, in de werkelijkheid slechts 5° is verschoven. Elke dezer hoofdverdeelingen wordt meestal in 6 deelen onderverdeeld, waarvan dus elk deel in de werkelijkheid 5 minuten groot is, doch om de genoemde reden voor 10 minuten geteld wordt. De telling van deze verdeeling geschiedt van het nulpunt naar de linkerhand. Rechts van dit punt is de verdeeling nog eenige graden voortgezet. Viel het nulpunt van den wijzer bij een dusdanige verdeeling tusschen twee deelstreepjes van den rand, dan zoude men door schatting moeten bepalen, hoever het genoemde punt van het naast voorgaande deelstreepje verwijderd was, en een nauwkeuriger aflezing dan tot volle minuten zoude wel niet mogelijk zijn. Ten einde echter nog veel kleiner bogen te kunnen aflezen, heeft de alhidade aan het uiteinde, waarmede zij op den limbus rust, een verdeeld boogje *N*, dat concentriek is met de hoofdverdeeling en nonius of vernier genoemd wordt. Boven dezen nonius en met een arm aan de alhidade bevestigd, bevindt zich een loep *a* om de verdeeling met de noodige scherpte te kunnen aflezen. De alhidade wordt met een klemschroef, die in de figuur niet zichtbaar is, aan den

rand vastgezet, terwijl vervolgens daaraan kleine bewegingen door de stelschroef S kunnen worden medegedeeld.

M en P zijn stellen gekleurde glazen, die voor den kijker en den grooten spiegel kunnen gelegd worden, om de lichtsterkte der stralen, indien zulks vereischt wordt, te temperen.

De octant onderscheidt zich van den spiegel-sextant daardoor, dat de limbus slechts 45° à 50° omvat, en ook, ofschoon zulks geenszins behoeft, door een minder nauwkeurige bearbeiding en door het gemis van den kijker, die in dat geval vervangen wordt door een koperen plaatje, waarin twee gaatjes boven elkander zijn geboord, om de lichtstralen in het oog te voeren. Een afzonderlijke beschrijving van dit werktuig achten wij overbodig, dewijl de samenstellende deelen, wat het wezen aanbelangt, met die van den sextant overeenkomen.

1°. De groote spiegel

is een geheel verfoelied stuk spiegelglas, waarvan de voor- en achtervlakken zoo na mogelijk platte en evenwijdige vlakken moeten zijn. Hij rust met den achterkant, d. i. met het verfoeliede vlak, tegen drie uitstekende puntjes van een zwaar koperen plaatje, dat aan den onderkant rechthoekig omgebogen, met drie schroeven loodrecht op de alhidade is bevestigd. Over den spiegel en het plaatje wordt een koperen huisje geschoven, dat aan den voorkant geheel open is, behalve ter hoogte van de drie puntjes, alwaar het drie uitstekende nokjes heeft. Door den achterkant van het genoemde huisje heen, drukt een schroefje tegen de opstaande plaat. Terwijl door deze inrichting de achterkant van het huisje van het plaatje verwijderd wordt, drukken de nokjes aan den voorkant den spiegel tegen de puntjes aan, en houden hem zoodoende door de veerkracht van den achterkant van het huisje stijf daartegen geklemd. Buiging kan de spiegel door deze wijze van bevestigen niet ondergaan, omdat de drie punten, waartegen hij rust, altijd in één plat vlak liggen.

Zal de groote spiegel aan zijn doel beantwoorden, dan moeten, zooals gezegd is, de voor- en achtervlakken platte evenwijdige vlakken zijn, en behoort hij loodrecht te staan op het vlak van den sextant.

Om te onderzoeken of de spiegel door platte vlakken begrensd wordt, beschouwe men, met een sterk vergrootenden kijker, het in den spiegel teruggekaatste beeld van een scherp begrensd voorwerp. Wordt dit beeld niet misvormd waargenomen, d. i. vertoont het zich volkomen zoo, als of het voorwerp met den kijker rechtstreeks beschouwd werd, dan kunnen de bedoelde vlakken als plat worden aangemerkt. Moet men echter, als het voorwerp rechtstreeks door den kijker scherp gezien wordt, den kijker een weinig inschuiven, om ook het teruggekaatste beeld scherp te kunnen zien, dan is de spiegelende vlakte hol; moet men hem daar-

entegen tot dat einde een weinig uitschuiven, dan is de genoemde vlakte bol.

Ten einde te beoordeelen, of de voor- en achtervlakken des spiegels evenwijdig zijn, tracht men het teruggekaatste beeld van een scherp begrensd, doch ver verwijderd voorwerp, waarvan de lichtstralen onder een zeer scherpen hoek op den spiegel vallen, in het oog te krijgen. Ontwaart men alsdan slechts één beeld, dan zijn de bedoelde vlakken evenwijdig; doch vertoonen zich daarentegen twee beelden, dan is de spiegel prismatisch. Laat om een en ander toe te lichten AB', fig. 110, een spiegel zijn, waarvan de voor- en achtervlakken AA' en BB' evenwijdig zijn. Zij verder CD een lichtstraal, die onder een hoek α op het voorvlak AA' valt, dan zal die straal bij zijne intrede in het glas, volgens DE gebroken en op het metaaloppervlak BB' in E volgens EF teruggekaatst worden, weder onder een hoek $AFO = \alpha$ uit het glas treden en volgens FO het oog treffen. Ook het voorvlak AA' zal eenig licht van het punt C terugkaatsen. Stelt men zich dus voor, dat een lichtstraal Ca volgens aO het oog treft, dan zal het oog twee beelden van C, het eene volgens OF, het andere volgens Oa ontwaren. Stellen wij echter het voorwerp C op een dusdanigen afstand, dat de lichtstralen CD en Ca evenwijdig loopen, en Ca dus overgaat in CF, dan vallen de beide beelden ineen, en het oog zal slechts één beeld van het voorwerp C ontwaren.

Is daarentegen AB', fig. 111, een spiegel, waarvan de voor- en achtervlakken elkander onder zekeren hoek snijden, dan zal een lichtstraal CD onder een hoek α op het voorvlak AA' vallende, volgens DE gebroken en volgens EF op het achtervlak teruggekaatst worden, en bij zijne uittrede uit het glas een hoek AFO met het voorvlak maken, die met den hoek α verschilt, dewijl in den driehoek DEF de hoeken EFD en EDF ongelijk zijn. Denkt men zich nu het voorwerp op een zoodanigen afstand, dat de lichtstraal CF', die het voorvlak in een punt F' treft, evenwijdig loopt aan den lichtstraal CD, dan zal de teruggekaatste straal $F'O$ met het voorvlak een hoek $AF'O = \alpha$ maken, en klaarblijkelijk zal het oog in O twee beelden van het voorwerp C, het eene volgens OF, het andere volgens OF' ontwaren. Legt men bij deze proef den spiegel afwisselend met de kanten A en A' naar zich toe, terwijl het vlak BB' in hetzelfde vlak blijft, waartoe men hem b. v. op een kwikoppervlakte zou kunnen laten drijven, dan zullen de beelden door de onder- en bovenvlakken des spiegels teruggekaatst, zich ten opzichte van elkander verplaatsen en zal hierdoor ook, indien men een dichter bijgelegen voorwerp bezigt, de prismatische gedaante van den spiegel worden aangewezen.

Om te onderzoeken of de groote spiegel loodrecht staat op het vlak van den sextant, houde men het oog zoodanig aan den rand van den

spiegel, dat men, door de alhidade naar het midden der verdeeling te verschuiven, een deel van den rand en zijn in den spiegel teruggekaatst beeld te zien krijgt. Vormen dan de rechtstreeks geziene en de teruggekaatste randen een doorloopenden boog, dan staat de spiegel loodrecht. Vertoont zich echter het beeld lager dan het rechtstreeks geziene gedeelte, dan helt de spiegel achterover en omgekeerd.

Een andere wijze, om dit punt te onderzoeken, is de volgende. Men plaatst een viziertje *A*, fig. 112, op het midden van de verdeeling en draait den spiegel met de alhidade zoodanig, dat men door de opening *O* het beeld van *O* ziet; desgevorderd wordt de toestel, die den kijker draagt, bevorens weggenomen. Hierna plaatst men het viziertje *B* zoodanig tusschen den spiegel en het vizier *A*, dat de draad *pq* door *O* gezien wordt. Vertoont zich dan, als men door *O* richt, de draad juist in het midden van het beeld van *O*, dan staat de spiegel loodrecht. Herhaalt men dit onderzoek op verschillende punten van den rand, dan zal daardoor de richtige stand van den spiegel op een voldoende wijze zijn na te gaan.

De meeste sextanten bezitten geen inrichting om den niet loodrechten stand des grooten spiegels door stelschroeven te verhelpen. Heeft hij eenige helling, dan kan men door het leggen van een reepje papier, naar omstandigheden onder den voor- of achterkant van den horizontalen staart, waarmede de spiegel aan de alhidade bevestigd is, de bedoelde helling vernietigen.

Bij het onderzoek omtrent den invloed, dien fouten in de samenstellende deelen van den sextant op de meting uitoefenen, komen wij op de rectificatie van den grooten spiegel terug.

2°. De kijker,

meer bepaald aangeduid door de benaming van langen kijker, is een gewone astronomische kijker, waarbij twee oculairen behooren. Met het eene oculair vergroot de kijker gewoonlijk 6, met het andere van 10 tot 12 malen. In de oogbuis bevindt zich een diaphragma, waarop twee onderling evenwijdige draden gespannen zijn. Het bedoelde diaphragma staat loodrecht op de as des kijkers, tusschen de beide lenzen die het oculair samenstellen, op de plaats waar het beeld van een verafgelegen voorwerp, waarop de kijker gericht is, zich vormt. (1) Men kan dus de oogbuis altijd zoo draaien, dat de beide draden, die over het diaphragma gespannen zijn, evenwijdig aan het vlak van den sextant komen. Tusschen deze draden moeten de beelden der voorwerpen, bij de meting, in aanraking of tot dekking worden gebracht, indien de optische as des kijkers,

---

(1) Bij deze beschouwing wordt de dikte der lenzen verwaarloosd.

zoo als behoort, evenwijdig is aan het vlak van het werktuig, en indien de draden even ver ter wederzijde van die as staan.

Zoo als wij vroeger opmerkten, kan de kijker, evenwijdig blijvende aan het vlak van den sextant, hooger of lager gesteld worden. Dit heeft ten doel om de beelden, die rechtstreeks en na dubbele reflexie in het oog vallen, gelijke lichtsterkte te geven. De afscheiding namelijk van het verfoeliede en het onverfoeliede gedeelte des spiegels, op het objectief des kijkers geprojecteerd, verdeelt dit in twee deelen, zoodat door het bovenste deel het voorwerp *B*, fig. 105, rechtstreeks, en door het onderste het dubbel gereflecteerde beeld van *A* gezien wordt. Schroeft men nu den kijker meer of minder op, en verkleint men daardoor de eene objectiefhelft ten opzichte van de andere, dan wordt daardoor ook het aantal lichtstralen, dat men van het eene en het andere beeld opvangt, gewijzigd, en men zal lichtelijk inzien, dat men zonder moeite de lichtsterkte der beide beelden, indien deze niet te veel verschilt, kan gelijk maken, hetgeen voor de nauwkeurige meting met den sextant een vereischte is.

De optische as van den kijker behoort evenwijdig te zijn aan het vlak van den sextant. Om dit punt te onderzoeken, legt men den sextant horizontaal op een tafel, en stelt de draden evenwijdig aan het vlak van het werktuig. Vervolgens plaatst men naast den kimspiegel het vizier *B*, en dicht bij den kijker het vizier *A* zoodanig, dat de lijn, die door het midden der viziertjes gedacht kan worden, evenwijdig loopt aan de as des kijkers. Is nu het midden van den kijker even ver van het vlak van den sextant verwijderd, als het gleufje *O* van het vizier *A*, en de draad van *B*, en richt men door *O* ziende, den genoemden draad op een scherp begrensd voorwerp, dan moet, als men bij onveranderden stand van het werktuig door den kijker ziet, het punt, waarmede de draad van *B* overeenkomt, juist midden tusschen de evenwijdige draden van den kijker vallen, als de laatstgenoemde den behoorlijken stand heeft.

Staat echter het bedoelde punt dichter bij den ondersten dan bij den bovensten draad, dan helt de kijker met het objectief-einde naar het vlak van den sextant en omgekeerd. Met behulp van de correctie-schroeven van den ring, waarin de kijker geschroefd wordt, kan de helling van den kijker worden vernietigd. Deze moerring is namelijk beweegbaar om twee puntjes, die in een lijn liggen, welke evenwijdig is aan het vlak van den sextant en voorts rusten in twee uithollingen van den toestel, die den kijker draagt. Loodrecht op de genoemde lijn, en diametraal tegenover elkander, bevinden zich twee schroefjes, waarmede de moerring aan den bedoelden toestel wordt verbonden, en klaarblijkelijk zal men door het meer aanschroeven van de eene schroef ten opzichte van de andere, aan den moerring en dus ook aan den kijker den vereischten stand kunnen geven. De plaats van het punt of de lijn, die buiten den kijker, door den draad *pq* van het vizier *B*, wordt bedekt, is in den kijker de

plaats, waar de aanraking der beelden bij de meting moet geschieden. Ligt dat punt midden tusschen de draden, dan is dit het doelmatigst, en het is dus zaak den kijker zoodanig te stellen, dat de aanraking midden tusschen de draden moet plaats hebben.

Is men niet in het bezit van de genoemde vizieren, dan zie men langs het vlak van den sextant naar een horizontale lijn, b. v. naar de roede van een vensterraam, dat ± 100 meters verwijderd is, en daarna door den kijker naar dat voorwerp. De beoordeeling van den al dan niet juisten stand des kijkers geschiedt hierdoor zeer gemakkelijk.

Een andere manier om het bedoelde onderzoek te bewerkstelligen is de volgende. Na de draden in den kijker evenwijdig gesteld te hebben aan het vlak van den sextant, brengt men het dubbel gereflecteerde beeld van een verwijderd voorwerp met het rechtstreeks geziene beeld daarvan, op den eenen draad in aanraking, of wel men doet de beelden van twee voorwerpen, die ongeveer 120° van elkander staan, elkander daarop aanraken. Brengt men vervolgens door een kleine beweging van den sextant, de beide beelden op den anderen draad, dan zal, als de kijker goed staat, de aanraking daardoor niet verbroken worden. Zijn daarentegen de beelden in aanraking b. v. op den ondersten draad, doch wijken zij op den bovensten uit elkander, dan duikt het objectief-einde van den kijker. Gaan zij over elkander heen, dan staat het genoemde uiteinde te ver van het vlak van den sextant verwijderd.

De kennis van den angulairen afstand der draden van den kijker is somtijds noodzakelijk. Deze afstand is de maat van den hoek, waaronder men uit het middelpunt van het objectief de beide draden zou zien, en kan op de volgende wijze bepaald worden. Men stelt de draden loodrecht op het vlak van den sextant en in het brandpunt van het objectief, door de oogbuis zoover uit te halen, dat men een zeer ver verwijderd voorwerp door den kijker goed duidelijk ziet en zoekt de indexcorrectie. Hierna geeft men den sextant een vaste stelling, waarbij het rechtstreeks geziene beeld van het ver verwijderde voorwerp een der draden raakt, en men verschuift de alhidade totdat het dubbel gereflecteerde beeld van het voorwerp op den anderen draad komt. Het verschil der aflezingen van de alhidade is de gevraagde dradenafstand. Men kan de genoemde waarneming herhalen, door het rechtstreeks geziene beeld op den anderen draad en het dubbel gereflecteerde beeld op den eersten te brengen, waartoe de alhidade in tegengestelde richting van de eerste beweging moet verschoven worden. De helft van het verschil der uiterste standen van de alhidade is dan de verlangde dradenafstand. Laat b. v. nadat de draden loodrecht op het vlak van den sextant gesteld waren, de aflezing der alhidade, toen de beelden van een ver verwijderd voorwerp elkander dekten, zijn — 0°2′15″, terwijl de aflezing + 1°40′ was, toen de beelden elk op een draad gebracht waren, dan is

de 2de aflezing	=	+ 1°40'
de 1ste „	=	— 0° 2'15"
Dradenafstand = verschil	=	1°42'15".

3°. De kimspiegel

is een stukje spiegelglas van kleiner afmetingen dan de groote spiegel, dat ter halver hoogte verfoelied is. Door deze inrichting kan, bij de meting van een hoek tusschen twee voorwerpen, het linksche voorwerp rechtstreeks door het onverfoeliede gedeelte van het glas worden beschouwd, en kan men, zooals soms noodig is, het beeld van het andere voorwerp door reflexie op dat onverfoeliede gedeelte verkrijgen, hetgeen niet het geval zou wezen, als het glas ter hoogte van de afscheiding van het verfoeliede en onverfoeliede gedeelte was weggenomen.

De wijze, waarop de kimspiegel aan het geraamte van den sextant is bevestigd, is zeer verschillend; doch bij de meeste werktuigen treft men een inrichting aan, waardoor de spiegel loodrecht op het vlak van het werktuig en als de alhidade op nul staat evenwijdig aan den grooten spiegel kan gesteld worden. Bij sommige sextanten kan de genoemde evenwijdigheid niet verkregen worden door het verzetten van den kimspiegel. Dewijl immer bij de meting de index-correctie moet bepaald worden, zoo is zulks ook niet noodig, en wij geven aan die inrichting de voorkeur, waarbij de kimspiegel niet gedraaid kan worden om een as, die loodrecht staat op het vlak van den sextant. De bevestiging van den spiegel in zijn huisje komt overeen met die van den grooten spiegel.

Om te onderzoeken of de kimspiegel behoorlijk loodrecht staat op het vlak van den sextant, richte men den kijker, nadat deze en de groote spiegel behoorlijk gerectificeerd zijn, op een scherp begrensd, tamelijk verwijderd voorwerp, en trachte de beide beelden door het verschuiven der alhidade tot dekking te brengen. Gelukt dit, dan staat de spiegel loodrecht, doch bedekken de beide beelden elkander slechts gedeeltelijk, of gaan, bij het verschuiven der alhidade, de beelden elkander vrijelijk voorbij, dan staat hij niet loodrecht en moet zijn stand door de correctieschroef, die meestal door het geraamte heensteekt, worden verbeterd. Zoo zal b. v. als de sextant horizontaal gehouden en de kijker op een toren gericht wordt, de spits van het eene beeld hooger staan dan die van het andere beeld, als de spiegel helt. Wil men dan den spiegel loodrecht stellen, dan draaie men de schroef totdat de beelden ten opzichte van het horizontaal gehouden werktuig even hoog staan. Door de alhidade daarna een weinig te verschuiven, overtuigt men zich lichtelijk of de beelden elkander volkomen dekken. Bij dit onderzoek is het aangenaam als de beide beelden gelijke lichtsterkte bezitten, hetgeen, zooals wij weten, verkregen wordt door den kijker op te schroeven, als het

dubbel gereflecteerde beeld meer helderheid bezit dan het rechtstreeks geziene, en omgekeerd.

Bezigt men tot het bedoelde onderzoek de kim, dan houde men den sextant vertikaal en brenge door het verschuiven der alhidade de beide beelden van de kim op elkander. Draait men dan het werktuig om de as des kijkers, dan zullen de beelden op elkander blijven, als de spiegel goed staat, doch in het tegengestelde geval zal het dubbel gereflecteerde beeld dalen, als de spiegel voorover helt, en bij een horizontalen stand van het werktuig, zal het eene beeld zich op den grootsten afstand van het andere bevinden. Helt de spiegel achterover, dan heeft het omgekeerde plaats, en in beide gevallen heeft men slechts door het verdraaien der correctieschroef, bij horizontalen stand van het werktuig, de beide beelden op elkander te brengen om den spiegel loodrecht te stellen.

Bij het gebruik van de oogbuis zonder glazen, handelt men op gelijke wijze; men brengt namelijk bij vertikalen stand van den sextant, met behulp van de alhidade, de beide beelden in één lijn. Draait men dan den sextant totdat hij ongeveer horizontaal is, dan zal men het dubbel gereflecteerde beeld hooger zien dan het andere, als de spiegel voorover helt, en omgekeerd. Een andere manier om den kimspiegel te rectificeeren, zullen wij bij de bepaling der index-correctie behandelen.

4°. De limbus, nonius en loep.

De rand of limbus van den sextant is, zooals bereids is opgemerkt, zoodanig verdeeld en gemerkt, dat daarop onmiddellijk de gemeten hoek kan worden afgelezen. Bij een sextant bevat de verdeeling 120 à 140, en bij een octant 90 à 100 gelijke deelen, die slechts de grootte hebben van halve graden, doch, zooals boven is verklaard, als heele graden genummerd zijn. Bij eerstgenoemde werktuigen worden deze graden gemeenlijk in 6, bij de laatstgenoemde in 3 gelijke deelen onderverdeeld.

Om kleinere deelen dan de genoemde te kunnen aflezen, is de alhidade van een inrichting voorzien, naar den uitvinder PEDRO NUNEZ, nonius, of naar PIERRE VERNIER, vernier genoemd. Deze nonius is niets anders dan een schaal, waarvan de deelen grooter of kleiner zijn dan die van den rand, en tot deze zekere betrekking hebben. Ziehier op welk beginsel zijne inrichting berust. Nemen wij p verdeelingen van den rand, en bevat elke verdeeling a secunden, dan is de lengte van dien boog ap secunden. Wordt deze boog op den nonius afgezet en in $(p+1)$ deelen gedeeld, dan zal elk noniusdeel a', $\frac{ap}{p+1}$ secunden bevatten, en er zal tusschen elke randverdeeling a en noniusverdeeling a' een verschil q bestaan, uitgedrukt door

$$q = a - a' = a - \frac{ap}{p+1} = \frac{a}{p+1}.$$

Komt dus het nulpunt van den nonius juist overeen met een der verdeelingen van den rand, dan zal elk deelstreepje van den nonius, van het nulpunt afgerekend, met de overeenkomstige streepjes van den rand, q, $2q$, $3q$, enz. verschillen.

Door deze inrichting kan men bogen van den rand, die kleiner dan a, doch veelvouden van q zijn, zonder moeite aflezen. Staat namelijk het nulpunt van den nonius tusschen twee verdeelingen van den rand, en zijn de deelstreepjes met cijfers van 0 tot $(p + 1)$ aldus gemerkt:

$$(p+1),\ p,\ (p-1)\ \ldots\ldots\ 2,\ 1,\ 0,$$

dan kunnen wij ons voorstellen, dat een verdeeling van den nonius gemerkt n, juist met een deelstreepje van den rand overeenkomt, of, zooals men het noemt, dat deelstreepje s n ij d t. Klaarblijkelijk zullen de verdeelingen, gemerkt

$$(n-1),\ (n-2)\ \ldots\ldots\ 2,\ 1,\ 0,$$

van de overeenkomstige randverdeelingen,

$$q,\ 2q\ \ldots\ldots\ (n-2)q,\ (n-1)q,\ nq,$$

verwijderd wezen, en de afstand van het nulpunt van den nonius tot de naast voorgaande randverdeeling zal dus nq bedragen. Zooals men ontwaart, heeft men slechts het nummer af te lezen, dat bij het snijdende streepje van den nonius staat, om den bedoelden afstand, in een veelvoud van q uitgedrukt, te kennen.

Laat tot opheldering van het voorgaande, in fig. 113, L de limbus, N de nonius en elk randdeel AB, BC, CD, enz. $= 20'$ zijn, dan zal, als men op den nonius een boog az afzet, die 19 van deze deelen bevat, en dezen boog in 20 gelijke deelen verdeelt, elk noniusdeel ab, bc, cd, enz. $= \frac{19 \times 20'}{20} = 19'$ zijn, en mitsdien 1' k l e i n e r wezen dan het randdeel. Zijn verder de deelstreepjes van den nonius van 0 tot 20 gemerkt, dan heeft men slechts het nummer van het snijdende streepje af te lezen, om door deze inrichting, bij zekeren stand van het nulpunt van den nonius, te weten, hoeveel m i n u t e n dit punt van de naast voorgaande randverdeeling verwijderd is. Stellen wij namelijk, dat het streepje van den nonius, gemerkt 4, fig. 114, juist snijdt, d. i. juist overeenkomt met dat van den limbus, dan zal de verdeeling 3 *één* minuut van het naaste streepje van den rand verwijderd zijn. Op dezelfde wijze verschilt het streepje 2 twee minuten met het overeenkomstige streepje van den rand, het streepje 1 drie minuten en eindelijk het nulpunt vier minuten met het streepje P van den rand, en mitsdien is de boog $P0 = 4'$, zooals door het nummer, dat snijdt, wordt aangegeven.

Had men het aantal p verdeelingen van den rand, in $(p - 1)$ deelen

gedeeld, en op den nonius afgezet, dan zou elk noniusdeel het randdeel met de hoeveelheid q overtreffen. Wij vinden dan voor de waarde van q:

$$q = a' - a = \frac{ap}{p-1} - a = \frac{a}{p-1}$$

en verkrijgen, fig. 115, hierdoor een anderen nonius, waarvan de deelen, van het nulpunt afgerekend, van de linker- naar de rechterhand worden geteld. Stelt in deze figuur weder L den limbus, N den nonius en elk randdeel AB, BB, enz. 20′ voor, dan zal men om volle minuten te kunnen aflezen, 21 deelen van den rand in 20 gelijke stukjes hebben te verdeelen. In dit geval namelijk, wordt elk noniusdeel *ab*, *bc*, enz. $= \frac{21 \times 20'}{20} = 21'$, en mitsdien 1′ grooter, dan het randdeel. Snijdt dan het streepje, gemerkt 4, fig. 116, dan zal weder de afstand van het nulpunt van den nonius tot het naast voorgaande streepje P van den rand 4′ bedragen, omdat volgens het gestelde, de afstand van de verdeeling 3 tot de naast voorgaande van den rand één minuut, die van 2 twee minuten, die van 1 drie minuten is.

De algemeene vergelijking:

$$q = \frac{a}{p \pm 1}$$

verschaft ons het middel, om, wanneer gegeven is:

1°. de grootte van de randverdeeling a,

2°. de grootte der kleinst af te lezen deelen q,

te bepalen, het aantal deelen p van den rand, dat er genomen moet worden, en in hoeveel gelijke stukken de genomen ruimte moet verdeeld worden, om de gegeven onderverdeelingen te erlangen.

Is namelijk

$$q = \frac{a}{p+1} \quad : \quad q = \frac{a}{p-1};$$

dan wordt

$$pq + q = a \quad , \quad pq - q = a$$

en dus

$$p = \frac{a}{q} - 1 \quad , \quad p = \frac{a}{q} + 1.$$

Zij b. v. de graad van den limbus in 6 gelijke deelen verdeeld, dan bevat elk stuk $\frac{60'}{6} = 10'$. Vraagt men dan tot op 10′ te kunnen aflezen, dan is

$$a = 10' \quad , \quad q = 10''$$

en dus

$$p = \frac{10'}{10''} - 1 = 59 \quad ; \quad p = \frac{10'}{10''} + 1 = 61.$$

Verdeelt men vervolgens deze 59 of 61 deelen van den rand in $(p \pm 1)$, d. i. in 60 gelijke stukken, dan wordt

$$1 \text{ noniusdeel} = \frac{59 \times 10'}{60} = 9'50'' \quad \text{of} \quad = \frac{61 \times 10'}{61} = 10'10''$$

en dus 10″ kleiner of grooter dan een randdeel.

Voorbeeld. Men vraagt op welke wijze de nonius moet ingericht wezen om bogen van 15″ te kunnen aflezen, als de graden van den rand in 4 deelen gedeeld zijn, en mitsdien elk deel 15′ bevat.

In dit geval is

$$a = 15' \quad , \quad q = 15''$$

dus

$$p = \frac{15'}{15''} - 1 = 59 \quad , \quad p = \frac{15'}{15''} + 1 = 61$$

en wij hebben derhalve andermaal 59 of 61 randdeelen in 60 gelijke stukken te verdeelen. Hierdoor wordt dan

$$1 \text{ noniusdeel} = \frac{59 \times 15'}{60} = 14'45'' \quad \text{of} \quad = \frac{61 \times 15'}{60} = 15'15''$$

en dus 15″ kleiner of grooter dan het randdeel.

De formule $q = \frac{a}{p \pm 1}$ geeft in de praktijk het middel aan de hand, om, gegeven zijnde een nonius, te bepalen welke bogen daarmede kunnen worden afgelezen. Men behoeft namelijk de kleinste verdeeling van den rand slechts te deelen door het aantal verdeelingen van den nonius, om het gevraagde te verkrijgen.

De loep is een vergrootglas, verbonden aan een beweegbaren arm, ten einde met alle nauwkeurigheid den nonius te kunnen aflezen. Hiertoe wordt vereischt, dat men de loep zoo scherp mogelijk stelt, en dat de snijdende streep juist onder het midden der loep komt.

Het nauwkeurig aflezen wordt bevorderd, door niet alleen naar het juiste snijden der strepen te zien, maar ook door acht te geven, of de naast voorgaande en de naast volgende evenveel van de overeenkomstige strepen van den limbus verschillen. Voor het onderzoek, waarvan op de volgende bladz. sprake is, is het dan ook wenschelijk, dat de verdeeling van den nonius een weinig verder worde voortgezet, dan wel met de bepaalde grootte van den boog *ap* overeenkomt.

Het kan soms gebeuren, dat er geen streepje volkomen snijdt, hetgeen plaats heeft, als het noniusdeel geheel binnen het randdeel valt, of bij den anderen nonius geheel daarbuiten. Is b. v. in fig. 117 L de limbus, N de nonius, elk randdeel 20′ en de nonius ingericht om volle minuten te kunnen aflezen, dan wijst in de figuur het nulpunt van de alhidade tusschen 5°14′ en 5°15′. Waren de afstanden der verdeelingen 14 en 15 van de overeenkomstige streepjes van den rand even groot, dan viel de bedoelde stand juist in het midden en klaarblijkelijk zou de nauwkeurige aflezing in dat geval zijn 5°14′30″. Zijn echter de bedoelde afstanden ongelijk, en is, zooals in de figuur, de ruimte tusschen de verdeeling 14 en het streepje van den rand, op het oog, twee derde van de ruimte tusschen de verdeeling 15 en het andere streepje van den rand, dan zal het aantal secunden, dat bij 5°14′ moet gevoegd worden, $\frac{1}{3}$ van het noniusdeel of 20″ bedragen, zoodat men in het algemeen, bij het schatten van het aantal bij te voegen secunden, op de onderlinge verhouding der bedoelde afstanden zal hebben acht te geven.

Staat het nulpunt van den nonius aan de r e c h t e r z ij d e van het nulpunt van den rand, dan moet de verdeeling rechts worden afgelezen. Het eenvoudigste daartoe is, dat men in gedachten het nulpunt van den rand, zooveel volle deelen rechts verzet, dat het nulpunt van den nonius weder aan de linkerzijde daarvan komt, en vervolgens den nonius op de gewone wijze afleest. Neemt men daarna het verschil tusschen de aldus gemaakte aflezing en het aantal randverdeelingen, dat het nulpunt in gedachten is verplaatst, dan zal dat verschil den begeerden afstand tusschen het nulpunt van den rand en dat van den nonius doen kennen. Laat b. v. elk randdeel van den limbus L, fig. 118, 20′ zijn en de nonius N ingericht om volle minuten te kunnen aflezen, dan verplaatsen wij het nulpunt van den limbus een hoofdverdeeling, d. i. een graad naar de rechterzijde, en vinden in dit geval van 1° gerekend:

aflezing = 6′
het nulpunt is verplaatst = 60′
dus stand alhidade = 54′ rechts van het nulpunt.

Men kan van den nonius gebruik maken om na te gaan, of de rand regelmatig verdeeld is. Men doet daartoe het nulpunt van den nonius met een streepje van den rand nauwkeurig overeenstemmen, en ziet of zulks ook met het laatste streepje van den nonius het geval is. Heeft dit bij elke verdeeling van den rand plaats, dan mag men dien als regelmatig verdeeld aanmerken; doch in het tegenovergestelde geval geeft zulks een onregelmatige verdeeling te kennen, waardoor het werktuig, naar gelang van de afwijkingen, in meerdere of mindere mate gebrekkig zal zijn.

5°. De gekleurde glazen.

De gekleurde glazen dienen om, zooals gezegd is, bij de waarneming van de zon of de maan, indien het licht te sterk mocht zijn, dit te matigen. Zij behooren geen afwijking teweeg te brengen in de lichtstralen, die zij doorlaten, en de voor- en achtervlakken moeten mitsdien platte, evenwijdige vlakken zijn. Dewijl de evenwijdigheid van de voor- en achtervlakken van het glas nimmer volkomen is, behooren de glazen zoodanig gevat te zijn, dat de lijn, waaronder genoemde vlakken, onbepaald verlengd zijnde, elkander zouden snijden, evenwijdig loopt aan het vlak van den sextant, als het glas gebruikt wordt. Kunnen de glazen, zooals bij de werktuigen van PISTOR en MARTINS, bij alle prismacirkels, en bij vele sextanten van nieuwe constructie het geval is, 180° worden omgelegd, dan zal het gemiddelde uit de waarnemingen met de glazen in den eenen en in den anderen stand van den invloed der niet evenwijdigheid der genoemde vlakken bevrijd wezen.

Kunnen de glazen niet worden omgelegd, dan kan de fout van elk glas op de volgende wijze bepaald worden. Men zoekt eerst de index-correctie, zie bladz. 389, met behulp van een zeer heldere ster of van de volle maan zonder glazen. Legt men daarna bij de herhaling der genoemde waarneming, het lichtgroene glas beurtelings voor den kijker en voor den grooten spiegel, dan zal het verschil tusschen de eerste en laatste waarneming, de fout van elk der lichtgroene glazen zijn. Beter nog is het de zon voor de eerstbedoelde waarneming te bezigen, waarvan het licht door een gekleurden oogdop voor het oculair des kijkers getemperd wordt.

Voor de lichtroode glazen, bepale men de index-correctie op de zon, als zij dicht bij den horizon staat, beurtelings met het roode glas voor den eenen en het groene voor den anderen spiegel. Hierdoor zal uit de bekende fout der groene glazen, die der lichtroode afgeleid kunnen worden. Neemt men eindelijk bij de bepaling der index-correctie op de zon, als deze vrij hoog staat, het donkerroode glas voor den eenen en het groene en lichtroode glas te zamen voor den anderen spiegel en omgekeerd, dan zal uit het verschil dier index-correctiën de fout der donkerroode glazen te bepalen zijn, als men die van de andere glazen kent.

Omtrent deze waarneming valt op te merken, dat meestal het licht der beelden te veel uiteen loopt, zoodat er van het oog veel wordt gevergd, terwijl bij de opvolgende afleidingen de waarnemingsfouten meer invloed bekomen, zoodat men zoo mogelijk nog meer combinatiën moet trachten te maken.

De vereffening van de fouten der gekleurde glazen door omlegging is verreweg het doelmatigst. Niets belet de inrichting daartoe op de gewone sextanten aan te brengen. Zoo zijn b. v. de octanten, die tot

prijzen gegeven worden in de kweekschool voor de zeevaart te Amsterdam, zoodanig ingericht, dat de gekleurde glazen voor den kimspiegel 180° kunnen omgezet worden. Bepaalt men dan op de zon de index-correctie een paar malen met de genoemde glazen in den eenen stand en daarna de index-correctie op nieuw een paar malen, als zij omgelegd zijn, dan zal het gemiddelde daaruit de index-correctie zijn, alsof deze alleen met de gekleurde glazen voor den grooten spiegel bepaald was, welke juist de correctie is, die men bij de meting noodig heeft.

Maakt men tot het meten van hoogten van den artificiëelen horizon gebruik, dan is de kennis van de fouten der gekleurde glazen niet volstrekt noodig om een juiste meting te kunnen verrichten, mits men de index-correctie met dezelfde gekleurde glazen bepaalt, waarmede de andere waarneming geschiedt. In elke andere omstandigheid echter, zal het gebruik maken van glazen, welker fouten niet zijn bepaald, of die niet 180° kunnen worden omgelegd, tot aanzienlijke fouten in de meting aanleiding kunnen geven.

De gekleurde oogdop is een gekleurd glaasje, dat voor het oculair van den kijker kan geschroefd worden. Maakt men van dit glaasje gebruik, dan zal de meting zonder fout zijn, ook al zijn de voor- en achtervlakken daarvan niet evenwijdig, omdat de lichtstralen van het rechtstreeks geziene en van het dubbel gereflecteerde beeld een gelijke afwijking ondergaan.

Het onderzoek, of de voor- en achtervlakken der gekleurde glazen evenwijdig zijn, kan op de volgende wijze geschieden, welke manier ook op den grooten spiegel kan worden toegepast, voor dat hij verfoelied is. Men richte een kijker, die van kruisdraden is voorzien, op een sterk lichtend punt. Brengt men voorts het glas, dat men wenscht te onderzoeken, tusschen het genoemde punt en den kijker, dan zal het punt ten opzichte van de kruisdraden niet van ligging veranderen, ook als het glas in zijn vlak wordt rondgedraaid, wanneer de voor- en achtervlakken evenwijdig zijn. Verzet het bedoelde punt zich echter een weinig, dan kan men de richting der grootste afwijking bepalen, welke richting loodrecht moet staan op het vlak van den sextant, als het glas voor de meting gebruikt wordt, opdat de niet evenwijdigheid der voor- en achtervlakken den geringsten invloed op de meting uitoefene. Uit den aard der zaak moeten die glazen verworpen worden, waarbij zich groote afwijkingen openbaren.

C. DE WAARNEMINGEN MET DEN SEXTANT.

1°. De bepaling der index-correctie.

Zooals vroeger is opgemerkt, behoort bij elke meting met den sextant het punt van de verdeeling te worden bepaald, dat het aanvangspunt der

telling zal wezen. Brengt men daartoe het voorwerp, waarop de kijker bij de meting gericht is, met zijn dubbel gereflecteerd beeld tot dekking, en staat de alhidade alsdan op het nulpunt der verdeeling, dan alleen zal de hoek, dien men later afleest, de juiste zijn, doch in alle andere gevallen zal men den eersten stand der alhidade of de zoogenaamde index-correctie hebben in rekening te brengen.

Gaat men uit van het beginsel om aan fouten dat teeken te geven, hetwelk overeenkomt met de wijze, waarop zij moeten worden toegepast, om de juiste waarde te doen kennen, dan heeft men aan de aflezing van den rand ter rechterzijde van het nulpunt het positieve, aan die ter linkerzijde, het negatieve teeken te geven en in dien geest de index-correctie op den gemeten hoek toe te passen.

Dewijl de index-correctie, voor zeer nabij gelegen voorwerpen, spiegel-parallaxis bevat, behoort men wel acht te geven, dat men bij de meting van hoeken tusschen aardsche voorwerpen, die zich op verschillende afstanden van den waarnemer bevinden, voor elk ander voorwerp, waarop de kijker gericht wordt, de index-correctie moet bepalen.

Om na te gaan, op welken afstand de spiegel-parallaxis ophoudt eenigen merkbaren invloed uit te oefenen, lossen wij uit de vroeger gevonden formule

$$\sin \alpha = \frac{f}{a} \sin 2\beta$$

zie bladz. 372, a op, als wij stellen, dat bij sextanten de kleinst af te lezen boog $= 5''$ is en mitsdien α deze waarde heeft, de hoek $\beta = 15°$ en $f = 0{,}095$ meters is. Hierdoor hebben wij:

$$a = \frac{f}{\sin \alpha} \sin 2\beta$$

of, na substitutie van bovenstaande waarden:

$$a = \frac{0{,}095}{\sin 5''} \sin 30^0$$

en dus

$$\begin{aligned} \log 0{,}095 &= 8{,}977724 \\ \text{C} \log \sin 5'' &= 4{,}615455 \\ \log \sin 30^0 &= \underline{9{,}698970} \\ \log a &= 3{,}292149 \\ a &= 1959 \text{ meters} \end{aligned}$$

alzoo in een rond getal op 2000 meters of ook op ongeveer $\frac{1}{4}$ mijl.

Wij zien dus dat bij voorwerpen, die op grooteren afstand van den waarnemer dan den gevonden verwijderd zijn, als het voorwerp zijn

dubbel gereflecteerd beeld dekt, de beide spiegels als evenwijdig kunnen aangemerkt worden, en dat men bij waarnemingen van hemellichten ten opzichte van de kim, of van elkander, dezelfde index-correctie mag bezigen.

De index-correctie, die op de waarnemingen der hemellichten wordt toegepast, kan bepaald worden:

1°. op de kim;

2°. met behulp van een hemellicht.

Om op de kim de index-correctie te bepalen, brenge men de beide beelden der kim, bij vertikalen stand van het werktuig, ineen, door de genoemde beelden, als men den kijker gebruikt, op elkander, doch bij het gebruik van de oogbuis in een lijn te brengen. Hierbij worde de alhidade afwisselend voor- en achteruit geschoven, ter vereffening van de buiging der alhidade, waarover later, totdat de bedoelde overeenstemming zuiver bereikt is, en telkens de nonius afgelezen. Het gemiddelde uit een even aantal aflezingen zal dan nagenoeg de juiste index-correctie zijn voor de meting zonder gekleurde glazen. Grootendeels zal de nauwkeurigheid van het resultaat afhangen van het voorkomen der kim. Vertoont deze zich als een scherp afgeteekende lijn, dan is de omstandigheid voor de waarneming gunstig. Zoo mogelijk zorge men voor gelijke lichtsterkte der beelden.

Bevindt men daarbij, dat het nulpunt van den nonius gemiddeld b. v. 2'30" links van het nulpunt van den rand komt te staan, dan is de index-correctie — 2'30", en elke hoek, die vervolgens met dit werktuig wordt afgelezen, moet met deze hoeveelheid verminderd worden.

Verlangt men hoeken met groote nauwkeurigheid te meten, dan is het gebruik van de index-correctie, als deze op de kim is bepaald, niet aan te bevelen, maar bepale men haar met behulp van de zon. Ziehier op welke wijze dit behoort te geschieden.

Men brenge het dubbel gereflecteerde beeld van de zon eerst met den eenen en daarna met den anderen rand van het rechtstreeks geziene beeld in aanraking en leest beide standen van de alhidade af. Bij deze aflezing neme men in acht, wat zoo even omtrent het aan te nemen teeken gezegd is. De halve algebraïsche som dier aflezingen zal de index-correctie zijn. Door een vierde te nemen van het algebraïsch verschil der bedoelde aflezingen, verkrijgt men de schijnbare halve middellijn der zon. De vergelijking van de laatstgevonden waarde met die, welke in den zeemans-almanak staat opgegeven, zal de meerdere of mindere juistheid aantoonen, waarmede de waarneming is geschied. Hierbij moet echter in acht genomen worden, dat de bedoelde opgave in den almanak de *ware* halve middellijn is, die, volgens hetgeen wij later zullen aantoonen, door een geringe herleiding *schijnbaar* gemaakt kan worden.

Over het algemeen zal men tusschen de waargenomen en de opgegeven

halve middellijn een klein verschil opmerken, dat echter niet aan waarnemingsfouten behoeft te worden toegeschreven. Het bedoelde verschil kan ontstaan door een gebrek in den kijker en ook door een persoonlijk gebrek van den waarnemer, die de aanraking met juistheid meent waar te nemen, terwijl er in de werkelijkheid nog iets aan ontbreekt.

Deze omstandigheid kan zich bij den eenen waarnemer geheel anders openbaren, dan bij den anderen; doch voor denzelfden waarnemer is de fout vrij standvastig. Deze fout oefent op de index-correctie geen invloed uit; zij openbaart zich alleen in de halve middellijn. Zeer raadzaam is het dus om bij herleidingen van rands- tot middelpunts-waarnemingen juist de aldus waargenomen halve middellijn te bezigen.

Bij deze waarneming is het zaak, den wijzer vooruit te draaien, totdat er aanraking der beelden plaats heeft, en vervolgens in omgekeerden zin, tot er weder aanraking wordt opgemerkt. De zonnebeelden zullen in beide gevallen over elkander heen gaan. Brengt men daarbij de beelden een weinig van elkander en beweegt men ze vervolgens naar elkander om aanraking te verkrijgen, dan is het middental uit het resultaat, naar deze en de vorige manier, tot het meten der halve middellijn het doelmatigst. Het grooter of kleiner verschil in de waarde der halve middellijn, naar gelang dat deze bepaald is, door de beelden van elkander af of naar elkander toe te laten gaan om aanraking te erlangen, zal kunnen doen beoordeelen, in hoeverre de aanraking zuiver is waargenomen.

Is men in twijfel of een aanraking wel juist is geweest, dan verschuive men de alhidade een weinig en herhale de waarneming.

Bij het gaan der beelden over elkander, lette men tevens op, of de beelden elkander daarbij zuiver dekken, ten einde zich omtrent den loodrechten stand van den kimspiegel te vergewissen.

Het is onverschillig in welken stand het werktuig ter bepaling van de index-correctie gehouden wordt, en men is dus vrij om dien stand te kiezen, welke het gemakkelijkst is. Staat de zon laag, dan zorge men dat gedurende de waarneming van de eene en de andere aanraking de helling van den sextant dezelfde is. In het laatste geval, zal men in de halve middellijn eenig verschil opmerken, naar gelang van de meerdere of mindere helling van den sextant gedurende de meting. Bij de herleiding echter van de ware halve middellijn uit den almanak tot de schijnbare, kan men de meerdere of mindere helling in rekening brengen.

Voorbeeld. Indien de gemiddelde aflezing van den sextant bij de eene en de andere aanraking der zonnebeelden was — 1°7′0″ en — 0°0′20″, vraagt men de index-correctie en de halve middellijn der zon.

1ste aflezing	$= -1°\ 7'\ 0''$
2de „	$= -0°\ 0'20''$
Index-correctie = ½ som	$= -0°33'40''$
halve middellijn = ½ verschil =	$16'40''$ 16′5″0.

De aflezing van alle hoeken, die vervolgens met dezen sextant worden gemeten, indien de kijker namelijk niet op een nabij gelegen voorwerp is gericht, zal met 33'40" moeten verminderd worden.

Voorbeeld. Zij de eerste aflezing, links van het nulpunt van den rand, 0°30'20" en de tweede, rechts van dit punt, 0°34'0". Men vraagt als boven.

1ste aflezing	=	— 0°30'20"
2de „	=	+ 0°34' 0"
Index-correctie = ½ som	=	+ 0° 1'50"
halve middellijn = ½ verschil	=	16' 5"

Bij de bepaling van de index-correctie, met behulp van een planeet of vaste ster, kan men aan den kimspiegel een zeer kleine helling geven. Hierdoor zullen, als de sextant vertikaal gehouden wordt, de beelden naast elkander komen en dus horizontaal moeten staan. Dit kan scherper beoordeeld worden, dan het bedekken der beelden, waartoe men anders zijne toevlucht zou moeten nemen, maar in het algemeen is het brengen van den kimspiegel uit den loodrechten stand niet aan te bevelen.

Het samenvallen der beelden van aardsche voorwerpen, als men met behulp van deze de index-correctie moet bepalen, is niet met de noodige juistheid waar te nemen. Geeft men aan den kimspiegel een zeer geringe helling, dan zal, bij horizontalen stand van het werktuig, de spits van het eene beeld, van een toren b. v., een weinig hooger staan dan de andere spits, en men zal de beide spitsen met behulp van de alhidade tamelijk nauwkeurig in een lijn kunnen brengen, die loodrecht staat op het vlak van den sextant. De aflezing van den stand der alhidade zal in dit geval de gevraagde index-correctie wezen.

Het zal wel geen betoog behoeven, dat de index-correctie niet uit een enkele, maar uit minstens vier of zes waarnemingen moet worden afgeleid, opdat de onvermijdelijke waarnemingsfouten zoo mogelijk elkander zouden opheffen, terwijl ook bij deze manier de beelden, door het afwisselend voor- en achteruitschuiven der alhidade, in elkander moeten worden gebracht. Nog is op te merken, dat de index-correctie veranderlijk is, zoodat het niet voldoende kan geacht worden, haar slechts van tijd tot tijd te bepalen. Hare bepaling behoort zoo mogelijk elke waarneming vooraf te gaan of te volgen.

Er blijft ons nog een rectificatie overig, namelijk om den kimspiegel evenwijdig aan den grooten te stellen, als de wijzer op nul staat. Hiertoe doet men het nulpunt van den nonius met dat van den rand overeenkomen en verdraait, met behulp van de horizontale correctieschroeven, den spiegel zoo lang, totdat bij horizontalen stand van het werktuig een ver verwijderd aardsch voorwerp met zijn beeld samenvalt, of bij vertikalen stand op de kim richtende, deze met haar beeld één lijn vormt.

Men beschouwe de genoemde rectificatie niet anders dan als het middel om den kimspiegel te stellen, als deze om de een of andere reden was afgenomen, terwijl daarvan alleen sprake kan zijn bij losse kimspiegels. Als het eenmaal geschied is, ontslaat dat den waarnemer niet van het zoeken der index-correctie. Hoe minder men aan de bedoelde schroeven raakt, des te vaster staat de spiegel en des te minder gevaar loopt men, dat de index-correctie onder de meting zal veranderen.

2°. Het meten van hoeken tusschen aardsche voorwerpen.

Men schroeft den kijker met de sterkste vergrooting in de daartoe bestemde moer, stelt de draden evenwijdig aan het vlak van den sextant, neemt het werktuig met de rechterhand bij het handvatsel en brengt het in nagenoeg horizontalen stand in het vlak, dat door de twee voorwerpen en het oog gedacht kan worden. De linkerhand ondersteunt daarbij den rand, terwijl de stelschroef der alhidade tusschen den duim en den voorsten vinger gevat wordt, om daaraan kleine bewegingen te kunnen mededeelen. In de vooronderstelling dat de wijzer op nul staat, wordt de kijker op het linksche voorwerp gericht en de index-correctie op de vroeger medegedeelde wijze bepaald. Hierna wordt de klemschroef losgemaakt, de alhidade verschoven en worden de voorwerpen ten naastenbij in elkander gebracht, de klemschroef vastgezet en met de stelschroef de vereischte aanraking of bedekking verkregen. Omtrent dit laatste punt regelt men zich naar de omstandigheden. Zijn die voorwerpen b. v. twee torens, dan kan de spits van den eenen in het bolletje van den anderen gebracht worden. Beslaan de voorwerpen eenige ruimte, dan is het beter, de hoeken te meten tusschen hunne naaste en verste grenzen of randen en daaruit het gemiddelde te nemen. Vervolgens wordt met omzichtigheid afgelezen, opdat de stand der alhidade onveranderd blijve, en op de aflezing de index-correctie toegepast, waardoor de gevraagde hoek bekend zal wezen.

Wil men nauwkeurig te werk gaan, dan vergenoegt men zich niet met een enkele meting, maar verzet de alhidade telkens na de aflezing, herhaalt de meting minstens vier of zes malen, en neemt uit de resultaten het gemiddelde.

Bij het verzetten van de alhidade met de stelschroef, moet men zorgen, dat de beelden zoodanig ten opzichte van elkander staan, dat de aanraking of bedekking verkregen wordt door de stelschroef voor- en achteruit te draaien. Hierdoor ontgaat men den invloed van de doorbuiging der alhidade, waarover wij later opzettelijk zullen handelen.

Bevindt zich de waarnemer op een schip, dan zal door de bewegelijkheid van dit voorwerp de sterkste vergrooting somtijds te lastig wezen, en men moet zich in dat geval van de zwakkere vergrooting of wel van

de oogbuis bedienen. Moet de plaats van het schip, al zeilende, door hoeken tusschen voorwerpen aan den wal bepaald worden, zooals bij het opnemen van een vaarwater kan voorkomen, dan is het raadzaam bij de hoeken ook den tijd op te teekenen, ten einde voor een bepaald tijdstip meer dan een enkele waarneming in rekening te kunnen brengen.

3°. Het meten van hoogten van hemellichten boven de kim.

Ten einde deze waarneming te verrichten, wordt de sextant van den kijker of de oogbuis voorzien, met de rechterhand bij het handvatsel gegrepen en in vertikalen stand ondersteund door de drie laatste vingers van de linkerhand, waardoor de duim en de voorste vinger vrij blijven ter besturing der alhidade. Steeds zorge men, den verdeelden zilveren rand niet met de vingers aan te raken. Men richt den kijker, terwijl het instrument goed recht gehouden wordt, op het punt der kim, de afscheiding van lucht en zee, waar de hoogtecirkel van het waar te nemen hemellicht deze snijdt, verschuift de alhidade, totdat het beeld van het hemellicht door den kijker gezien, nabij de kim schijnt te staan en zet de klemschroef vast. Draait men daarna den sextant een weinig om de as des kijkers, dan zal het hemellicht een boogje beschrijven, dat slechts in één punt de kim moet raken, als men de hoogte goed heeft waargenomen. Ontbreekt er iets aan, dan wordt dit met de stelschroef verholpen, terwijl men den sextant eenigszins om de genoemde as laat oscilleeren. De aflezing van den rand, voor de index-correctie verbeterd, zal de gevraagde hoogte zijn.

Heeft het hemellicht een zichtbare schijf, zooals bij de zon en de maan het geval is, dan kan men niet anders dan de hoogte van den onder- of bovenrand meten. Men zij dan bij het gebruik van den langen kijker indachtig, dat deze de voorwerpen omkeert en dat dus b. v. voor een onderrandshoogte het hemellicht onder de kim gebracht moet worden. Vóór den doorgang zal het zich dan van de kim moeten verwijderen.

In plaats van de juiste aanraking met de stelschroef te verkrijgen, verkiezen sommigen het hemellicht, wanneer het rijzend is, in de kim te brengen en het oogenblik af te wachten, waarop het die raakt. Daalt het hemellicht daarentegen, dan worde tusschen den rand en de kim eenige ruimte gelaten, en vervolgens het oogenblik van de aanraking waargenomen.

Mocht het om de een of andere reden moeilijk vallen, het hemellicht op de kim te brengen, dan schroeve men geen kijker of oogbuis in, maar richte door den beugel, terwijl de alhidade ongeveer op nul staat, met het bloote oog, en als het de zon geldt, door een gekleurd glas, rechtstreeks op het hemellicht. Hierdoor zal zich het dubbel gereflecteerde beeld in het verfoeliede gedeelte des kimspiegels vertoonen, en wanneer men nu de alhidade langzaam vooruitschuift, terwijl het genoemde beeld

in den kimspiegel gehouden wordt, door dezen langzamerhand te doen dalen, zal het hemellicht zonder moeite in de nabijheid der kim gebracht kunnen worden. Vervolgens heeft men slechts den kijker in te schroeven, om de juiste aanraking op de voorschreven wijze te erlangen.

4°. Het meten van maansafstanden.

Even als bij de meting van den hoek tusschen aardsche voorwerpen, wordt ook voor deze waarneming de sextant in het vlak gebracht, dat door de maan, het andere hemellicht en het oog gedacht kan worden, en de alhidade zoolang verschoven, tot er aanraking van de beelden der hemellichten plaats heeft. Zal deze aanraking met de noodige scherpte kunnen beoordeeld worden, dan moeten de beide beelden van gelijke lichtsterkte wezen, en in het algemeen zal de kijker op het minst heldere hemellicht gericht moeten worden.

Bij het meten van afstanden tusschen zon en maan, richt men den kijker dus altijd op het laatstgenoemde hemellicht en wordt de sextant met de spiegels naar boven of naar onder in de hand gehouden, naar gelang de maan links of rechts van de zon staat. Het te sterke zon- of maanlicht wordt door gekleurde glazen getemperd, en de kijker wordt naar omstandigheden hooger of lager geschroefd. Ten einde de hand niet noodeloos te vermoeien, kan men, alvorens de waarneming te beginnen, de alhidade op die verdeeling van den rand zetten, die ongeveer met den te meten afstand overeenkomt, welke afstand met den gegisten tijd te Greenwich, in den Nautical Almanac, voor dit doel althans, nauwkeurig genoeg kan opgezocht worden. Alvorens den kijker in te schroeven, overtuigt men zich, met het bloote oog door den kijkerbeugel richtende, dat de hemellichten elkander ten naastenbij raken, schroeft daarna den kijker in en brengt de volle randen der hemellichten met behulp van de stelschroef juist in aanraking, zoo mogelijk tusschen de draden van den kijker, die evenwijdig met het vlak van den sextant behooren te staan. Is nu de afstand met kleine tusschenpoozen eenige malen gemeten en zijn de aflezingen opgeteekend, dan wordt daarna de index-correctie bepaald en op de gemiddelde aflezing toegepast. Ook bij deze waarnemingen is het zaak, de aanraking te doen plaats hebben, door beurtelings de beelden naar elkander toe en van elkander af te doen gaan. Nauwkeurig handelt men door de halve middellijn der zon, die, zoo als wij gezien hebben, gelijktijdig met de index-correctie bepaald kan worden, te bezigen om den randsafstand tot dien van het middelpunt te herleiden. Staat de zon zeer laag, dan houde men den sextant in denzelfden stand, bij de bepaling van de halve middellijn, als bij de meting van den afstand. Voor de maan gebruike men de halve middellijn uit den almanak, vermeerderd of verminderd met zoo veel secunden, als door een herhaalde beproeving de halve middellijn der zon grooter of klei-

ner gemeten wordt, dan in den almanak voor deze staat opgegeven.

Sommigen verkiezen, in plaats van de aanraking der beelden door middel van de stelschroef te bewerkstelligen, de aanraking door de betrekkelijke beweging der hemellichten zelve te laten plaats vinden. Brengt men de beelden van zon en maan een weinig in elkander, als de afstand aangroeit, en uit elkander, als hij afneemt, dan kan men het oogenblik van de juiste aanraking met nauwkeurigheid afwachten en daarna den gemeten afstand aflezen. Inzonderheid is deze manier aan te bevelen, wanneer de zon links van de maan staat en het werktuig dus in een moeilijken stand, meestal met de spiegels nederwaarts gekeerd, moet gehouden worden. Is de wijzer op een bepaald punt van den rand vastgezet en wacht men de aanraking af, dan komt de linkerhand vrij en kan het werktuig met deze ondersteund worden, waarbij echter gezorgd moet worden, dat noch de alhidade, noch de spiegels, noch de glazen worden aangeraakt. Doelmatig zoude het zijn de hand met een handschoen te bedekken, om het ongelijkmatig uitzetten van het werktuig, door de uitstralende warmte der hand, te voorkomen. Door het werktuig met beide handen vast te houden, kan de waarnemer soms een gemakkelijke houding aannemen. Hoe gemakkelijker en ongedwongener deze toch is, des te meer kans bestaat er voor het welslagen der waarneming.

Wanneer men volgens de laatste manier de aanraking afwacht, behoort er onderscheid gemaakt te worden, of de afstand af- dan wel toeneemt. Stelt men de beelden eenigszins van elkander, dan ziet men in het eerste geval den afstand der beelden kleiner worden, totdat er aanraking plaats heeft. In het tweede geval laat men de beelden elkander een weinig bedekken, en bespeurt de aanraking als het gemeenschappelijk segment langzamerhand verdwenen is. Zeer waarschijnlijk is het, dat men onder die omstandigheden de aanraking verschillend zal beoordeelen, en wellicht zoude het goed zijn, om de waarneming zoo in te richten, dat men in beide gevallen, behalve het oogenblik van de vermeende aanraking, ook opteekent het oogenblik, waarop zij nog niet volkomen is, en dat, waarop de aanraking blijkbaar reeds heeft plaats gehad, waardoor men alzoo drie tijdstippen voor elke waarneming zou verkrijgen, als: het eerste stellig een paar secunden te vroeg, het tweede zoo mogelijk juist en het derde stellig een paar secunden te laat. Komen nu de opteekeningen te vroeg en te laat, evenveel malen voor, dan verdwijnt de fout uit het gemiddelde, terwijl de vergelijking van dit middental met het gemiddelde uit de opteekening van de oogenblikken, waarop men de juiste aanraking meende waar te nemen, ter beoordeeling van het al of niet juiste der waarneming zou kunnen dienen. Steeds houde men in het oog, dat de waarnemingen met fouten zijn aangedaan, zoodat men moet trachten die fouten in een tegengestelden zin te doen vallen, opdat zij zoo mogelijk uit het gemiddelde resultaat verdwijnen.

Bij het meten van den afstand tusschen de maan en een vaste ster, heeft men, behalve op de algemeene voorschriften, nog daarop acht te geven, of de naaste dan wel de verste rand der maan met het hemellicht in aanraking is gebracht. Men zal het nauwkeurigst te werk gaan, als het een der buitenplaneten (Mars, Jupiter of Saturnus) geldt, door het beeld der planeet afwisselend tegen den rand der maan, op den rand en aan de binnenzijde daartegen te brengen. Uit het gemiddelde van drie dergelijke waarnemingen is dan de halve middellijn der planeet geëlimineerd.

Bij Venus zal het noodig zijn dien rand van de planeet te nemen, die naar de zon gekeerd is, en de halve middellijn der planeet in rekening te brengen.

d. DE INVLOED VAN FOUTEN IN DEN SEXTANT OP DE METING (1).

Een gewichtig onderzoek betreft den invloed, dien de gebreken van den sextant op de meting uitoefenen. Die gebreken kunnen gerangschikt worden onder twee soorten. Tot de eerste soort rekenen wij:

1°. het niet evenwijdig zijn van de as des kijkers aan het vlak van den sextant;

2°. den niet loodrechten stand der spiegels op het genoemde vlak.

Tot de tweede soort behooren de eigenlijke gebreken in den bouw van het werktuig, zooals:

1°. de niet evenwijdigheid van de voor- en achtervlakken der spiegels en der gekleurde glazen;

2°. de excentriciteit;

3°. de fouten der randverdeeling, waartoe gerekend moeten worden de onjuiste grootte der graden en het niet volkomen sluiten van den nonius;

4°. het doorbuigen der alhidade, enz.

Een paar opmerkingen mogen de beschouwing der genoemde punten voorafgaan. Wanneer een lichtstraal AB, fig. 120, onder een hoek ABG met de loodlijn BG, op een vertikaal plat vlak FE vallende, in de richting BC wordt teruggekaatst, dan zal de teruggekaatste straal BC onder een gelijken hoek als de invallende straal AB op een horizontaal vlak hellen. Verlengen wij namelijk den straal AB, achter het vlak EF, en zij D het punt, alwaar het horizontale vlak, dat door het punt C gaat, dien verlengden straal snijdt, dan is, volgens de bekende wet der terugkaatsing van lichtstralen op een plat vlak, in de rechthoekige driehoeken BID en BIC, $DI = IC$ en dus ook $BD = BC$, en mitsdien in de rechthoekige driehoeken BOD en BOC, hoek $BDO =$ hoek BCO.

Stelt H, fig. 107, den kimspiegel en G den grooten spiegel van een sextant voor, en staan beide spiegels loodrecht op het vlak der verdee-

(1) De volgende beschouwing is ontleend aan de vriendelijke mededeeling van Dr P. J. STAMKART.

ling, terwijl zij een hoek φ met elkander maken, dan is de hoek F, gevormd door den verlengden lichtstraal AB en den straal CD, zooals wij weten, gelijk aan 2φ, waarbij voorondersteld wordt, dat AB evenwijdig loopt aan het genoemde vlak.

Nemen wij echter aan, dat de lichtstraal AB een hoek i met dat vlak maakt, dan zullen, volgens het opgemerkte, ook BC en CD denzelfden hoek i met dat vlak vormen, terwijl omgekeerd, als DCK de richting is van de as des kijkers, die onder een hoek i op het vlak van den sextant helt, ook BC en AB onder dien hoek op het genoemde vlak zullen hellen.

1°. De invloed van de helling van den kijker.

Stellen wij, dat de kijker onder een hoek i op het vlak van den sextant helt, dan zal de verlengde straal AB, fig. 107, den dubbel gereflecteerden straal CD niet in het punt F, maar ingeval i positief is, in een hooger gelegen punt snijden, voor welk punt wij echter F mogen houden, dewijl het immer zeer nabij F zal vallen.

Denken wij ons om F, als middelpunt, een bol beschreven, en door FK en FA twee platte vlakken gebracht, loodrecht op het vlak van den sextant, dan zullen deze drie vlakken den bol snijden volgens den bolvormigen driehoek $PK'A'$, fig. 121, waarin de tophoek $P = 2\varphi$, gemeten door den boog $A'K'$, den hoek voorstelt, dien men op den sextant afleest. Stellen wij verder, dat de verlengde stralen FK en FA den bol ontmoeten in de punten K en A, dan zal $KK' = AA' = i$ de maat van de helling des kijkers en de boog $AK = S$ de maat van den gevraagden hoek zijn.

Trekken wij de loodlijn PL, dan is in den rechthoekigen bolvormigen driehoek KPL

$$\sin KL = \sin KP \sin \varphi$$

of

$$\text{(I)} \quad \sin \tfrac{1}{2} S = \cos i \sin \varphi$$

door welke formule de ware hoek S berekend kan worden, als de afgelezen hoek 2φ en de helling i des kijkers gegeven zijn.

Verminderen wij beide leden van de vergelijking (I) met $\sin\varphi$, dan komt:

$$\sin \tfrac{1}{2} S - \sin \varphi = \cos i \sin \varphi - \sin \varphi$$
$$2 \sin \tfrac{1}{2} (\tfrac{1}{2} S - \varphi) \cos \tfrac{1}{2} (\tfrac{1}{2} S + \varphi) = (\cos i - 1) \sin \varphi$$
$$= -2 \sin^2 \tfrac{1}{2} i \sin \varphi.$$

Stellen wij nu dat i klein is, zoodat wij de bogen evenredig mogen stellen met de sinussen, dan zal ook, voor $\frac{1}{2} (\frac{1}{2} S + \varphi)$, φ geschreven mogen worden, waardoor wij verkrijgen:

$$\tfrac{1}{2}(\tfrac{1}{2}S-\varphi)\sin 1''\cos\varphi = -\tfrac{1}{4}i^2\sin^2 1''\sin\varphi$$

$$\text{(II)} \quad S-2\varphi = -i^2\sin 1''\,\mathrm{tang}\,\varphi$$
$$S = 2\varphi - i^2\sin 1''\,\mathrm{tang}\,\varphi.$$

Is i in minuten uitgedrukt, dan gaat formule (II) over in:

$$S-2\varphi = -60^2 i^2\sin 1''\,\mathrm{tang}\,\varphi$$
$$= -0'',017453\, i^2\,\mathrm{tang}\,\varphi$$

Voorbeeld. De helling van den kijker zij 30′ en de afgelezen boog 130°; men vraagt den waren hoek.

Wij hebben dan:

$i = 30'$
$i^2 = 900$ . . . . . log = 2,954243
$\varphi =$ 65° log tang = 0,331327
0″,017453 log = 8,241878

log $(S-2\varphi)$ = 1,527448 (—)
$S-2\varphi$ = — 0° 0′33″,6
2φ = 130° 0′ 0″
S = 129°59′26″,4.

Zooals uit formule (II) blijkt, meet men, ten gevolge van de helling des kijkers, alle hoeken te groot; de verbetering $(S-2\varphi)$ moet dus immer van den afgelezen hoek worden afgetrokken.

Is de afgelezen hoek ongeveer 180°, zooals bij de prisma-werktuigen van PISTOR en MARTINS het geval kan wezen, dan berekene men den waren hoek volgens formule (I).

Laat b. v. de afgelezen hoek 179°50′ en de helling van den kijker 30′ zijn, dan is de bewerking als volgt:

φ = 89°55′ . . . log sin = 9,9999995
i = 30′ „ cos = 9,9999835

log sin $\frac{1}{2}S$ = 9,9999830
$\frac{1}{2}S$ = 89°29′40″
S = 178°59′20″.

Ofschoon over het algemeen de sextanten een inrichting bezitten om den onjuisten stand des kijkers te verbeteren — wij hebben vroeger gezien op welke wijze men zich daaromtrent kan vergewissen — zoo kan het echter somwijlen voorkomen, dat de inrichting van den sextant zulks niet toelaat, en men zal in dat geval de verbetering op den gemeten hoek hebben toe te passen. Het eenvoudigste middel is, dat men met de argumenten i en φ een tafel samenstelt, waarin de bedoelde verbetering kan worden opgezocht. De kennis van het bedrag van i kan op de volgende wijze verkregen worden.

Men bepale, volgens het voorgeschrevene op bladz. 381, den dradenafstand d. Na de draden evenwijdig aan het vlak van den sextant gesteld te hebben, meet men nauwkeurig den hoek tusschen twee voor-

werpen, die ongeveer 120° à 130° uit elkander liggen, waarbij de aanraking der beelden eerst op den eenen en daarna op den anderen draad wordt bewerkstelligd. Laat de aldus gevonden aflezingen zijn φ en φ', uit den aard der zaak voor de index-correctie verbeterd, en zij i de helling des kijkers, dan is bij de eene meting de helling der gezichtslijn $i + \frac{d}{2}$ en bij de andere $i - \frac{d}{2}$. Is dan S_0 de ware hoek tusschen de beide voorwerpen, dan heeft men naar formule (II):

$$\varphi = S_0 + \sin 1'' \operatorname{tang} \tfrac{1}{2}\varphi \left(i + \frac{d}{2}\right)^2$$

$$\varphi' = S_0 + \sin 1'' \operatorname{tang} \tfrac{1}{2}\varphi' \left(i - \frac{d}{2}\right)^2 .$$

Stellen wij, hetgeen geoorloofd is, tang $\frac{1}{2}\varphi$ = tang $\frac{1}{2}\varphi'$, dan is

$$i = \frac{\varphi - \varphi'}{2d \sin 1'' \operatorname{tang} \frac{1}{2}\varphi}$$

de gevraagde helling van den kijker. Zooals duidelijk is, zal de kleinste der hoeken φ en φ' gemeten worden op den draad, welke het dichtst bij het vlak van den sextant staat, en de gezichtslijn, die evenwijdig aan dat vlak loopt, zal een hoek met dien draad maken, voorgesteld door $\left(i - \frac{d}{2}\right)$. Brengt men dus bij hoekmeting de beelden der voorwerpen in de laatstgenoemde richting met elkander in aanraking, dan oefent de helling van den kijker op den gemeten hoek geen invloed uit.

2°. De invloed van de helling der spiegels, in verband met die van den kijker.

Hebben wij in de voorgaande beschouwing alleen aan den stand van den kijker een fout toegekend, zoo zullen wij thans nagaan met welke fout de gemeten hoek wordt aangedaan, als bovendien de spiegels niet loodrecht op het vlak van het werktuig staan. Bij het onderzoek aangaande dat punt, merken wij op:

1°. dat de hoek φ altijd is de hoek, gevormd door de verlengden der beide spiegels;

2°. dat i het complement is van den hoek, dien de as des kijkers vormt met de lijn, waaronder de beide spiegels, verlengd zijnde, elkander snijden.

Deze bepaling omtrent φ en i gaat door, hoedanig het vlak van den sextant, ten opzichte van de genoemde lijn van doorsnede, ook moge gelegen zijn, en de oplossing van het vraagstuk zal bij gevolg op de bepaling van φ en i neêrkomen.

Beschrijven wij daartoe om het punt, dat de doorsnede is van het vlak van den sextant met de lijn, waaronder de spiegelvlakken elkander

snijden, een bol, en trekken wij door dat punt een lijn, evenwijdig aan de as des kijkers, die het oppervlak van den bol ontmoet in het punt C, fig. 122.

Zij verder $KMK'M'$ de doorsnede van den bol met het vlak van den sextant, MPM' die van den bol met het vlak van den grooten spiegel, welken wij aannemen een weinig voorover te hellen, en KPK' de doorsnede van den bol met het vlak van den kimspiegel, dien wij een stand achterover geven. Zij P het punt, alwaar de verlengde lijn van doorsnede der spiegelvlakken den bol treft en T de pool van het vlak van den sextant.

Trekken wij den loodrechten boog TCC', dan is C' een punt van de projectie van de as des kijkers op het vlak van het werktuig en $CC' = i'$ is de helling van die as op dat vlak. Trekt men den boog PCC''', dan is $PC = 90° - i$. CC'' is blijkbaar niet gelijk aan i, dewijl PC'' niet gelijk $90°$ is.

Noemen wij ter bekorting:

den hoek PMK', dien de groote spiegel met het vlak van den sextant maakt, $90° - M$
den hoek PKM, dien de kimspiegel met dat vlak vormt, ... $90° - K$
den hoek KPM, dien de beide spiegelvlakken met elkander maken, . . φ
den boog MK of den halven boog, die na de toepassing der index-correctie op den limbus wordt afgelezen, ... φ'
den boog PK . . . . $90° - x$

dan is in den bolvormigen driehoek PMK:

$$\text{(III)} \quad . \quad . \quad . \quad \text{tang}\, x = \frac{\sin K \cos \varphi' - \cos K \,\text{tang}\, M}{\sin \varphi'} \quad \text{en} \quad \sin \varphi = \frac{\cos M}{\cos x} \sin \varphi'.$$

Schrijven wij, in de uitdrukking voor tang x, $\frac{\sin M}{\cos M}$ voor tang M en vermenigvuldigen wij teller en noemer met 2, dan komt:

$$\text{tang}\, x = \frac{2 \sin K \cos M \cos \varphi' - 2 \cos K \sin M}{2 \cos M \sin \varphi'}$$

$$= \frac{\cos \varphi' (\sin (K + M) + \sin (K - M)) - (\sin (K + M) - \sin (K - M))}{2 \cos M \sin \varphi'}$$

$$= - \frac{\sin (K + M)(1 - \cos \varphi')}{2 \cos M \sin \varphi'} + \frac{\sin (K - M)(1 + \cos \varphi')}{2 \cos M \sin \varphi'}$$

$$\text{(IV)} \; . \; . = - \frac{\sin (K + M)}{2 \cos M} \,\text{tang}\, \tfrac{1}{2} \varphi' + \frac{\sin (K - M)}{2 \cos M} \,\text{cotg}\, \tfrac{1}{2} \varphi'.$$

Wij hebben nu in den vierhoek $KPCC'$ bekend:

$KC' =$ hoek ECK (zie fig. 107) $= 180° - ECF = 90° + \beta$
$KP = 90° - x$
$PKC' = 90° - K$
$C' = 90°$
$CC' = i'$ de helling van den kijker op het vlak van den sextant,

en kunnen dus de zijde $PC = 90° - i$ bepalen. Trekken wij daartoe de diagonaal $CK = y$, en zij hoek $CKC' = z$, dan is in den driehoek $CC'K$

$$\cos CK = \cos CC' \cos C'K \text{ en } \operatorname{tang} CKC' = \frac{\operatorname{tang} CC'}{\sin C'K}$$

of

$$(V) \quad \ldots \quad \cos y = \cos i' \sin \beta \qquad \text{en} \qquad \operatorname{tang} z = \frac{\operatorname{tang} i'}{\cos \beta}.$$

Vervolgens is in driehoek PCK

$$\cos PC = \cos CK \cos PK + \cos PKC \sin CK \sin PK$$

of

$$(VI) \quad \ldots \quad \sin i = \cos y \sin x + \sin (K + z) \sin y \cos x.$$

Substitueeren wij dus in formule (I) de gevonden waarde voor φ uit (III), dan verkrijgen wij voor den waren hoek S, de uitdrukking:

$$(VII) \quad \ldots \ldots \quad \sin \tfrac{1}{2} S = \frac{\cos i \cos M}{\cos x} \sin \varphi'.$$

Laten wij deze uitdrukking een soortgelijke herleiding ondergaan, als (I), dan vinden wij voor de verbetering, die op den afgelezen hoek moet worden toegepast, om den waren hoek te vinden:

$$(VIII) \quad \ldots \quad S - 2\varphi' = -2\left(1 - \frac{\cos i \cos M}{\cos x}\right) \operatorname{tang} \varphi'.$$

De loop der berekening is eenvoudig. Men vindt x door (IV), y en z door (V), i door (VI) en ten slotte S door (VII) of (VIII).

Dewijl over het algemeen de grootheden i', z, M en K niet groot zijn, zoo mogen wij aannemen:

$$y = 90^0 + \beta \quad \text{en} \quad z = \frac{i'}{\cos \beta}.$$

Hierdoor wordt

$$(IX) \quad \ldots \begin{cases} \operatorname{tang} x = -\tfrac{1}{2}(K + M) \operatorname{tang} \tfrac{1}{2}\varphi' + \tfrac{1}{2}(K - M) \operatorname{cotg} \tfrac{1}{2}\varphi' \\ \sin i = (K \cos \beta + i') \cos x - \sin \beta \sin x. \end{cases}$$

Streng genomen kan men x en i niet als kleine grootheden aanmerken, dewijl $\operatorname{cotg} \frac{1}{2} \varphi'$ zeer groot kan zijn. Het is dus wenschelijk, dat K en M zoo mogelijk aan elkander gelijk zijn, tot welk einde men moet zorgen, inzonderheid als de te meten hoek klein is, dat beide spiegels een gelijke helling hebben.

Door de inrichting van den sextant zijn de grootheden, die wij i en K genoemd hebben, standvastig, doch de helling M kan met den hoek veranderen. Staat de as, waarom de groote spiegel draait, loodrecht op het vlak van den sextant, en is bovendien het vlak van den spiegel

evenwijdig aan die as, dan is $M = 0$. Is de eerste voorwaarde vervuld, doch de tweede niet, dan beschrijft de pool van den grooten spiegel, bij de beweging der alhidade, een kleinen cirkel, die aan het vlak van den sextant evenwijdig is, en M is standvastig. Is daarentegen de tweede voorwaarde vervuld, doch de eerste niet, dan beschrijft de bedoelde pool een grooten cirkel, die een bepaalden hoek met het vlak van den sextant maakt, en M is met den hoek veranderlijk.

Is geen der beide voorwaarden vervuld, dan beschrijft de pool des grooten spiegels een kleinen cirkel, die op het vlak van den sextant helt, en M is weder veranderlijk. Ofschoon alzoo de kennis van den al of niet juisten stand der omwentelingsas van de alhidade een hoofdvereischte schijnt te zijn, bij de bepaling van den invloed, dien de foutieve stand van den grooten spiegel op de meting uitoefent, zoo mogen wij echter, bij onze beschouwing, die as als richtig gesteld aannemen, dewijl de instrumentmakers zulks met groote juistheid weten te bewerkstelligen. In de meeste gevallen kan men dus M als standvastig aanmerken, en dewijl men zeer gemakkelijk, als de alhidade op nul staat, den kimspiegel evenwijdig aan den grooten spiegel kan stellen, mag $K = M$ genomen worden.

De formules (IX) kunnen, dewijl x klein blijft, overgaan in deze:

$$\text{(X)} \quad \ldots \quad \left\{ \begin{aligned} x &= - M \operatorname{tang} \tfrac{1}{2} \varphi' \\ i &= (M \cos \beta + i') + M \sin \beta \operatorname{tang} \tfrac{1}{2} \varphi' \\ &= i' + M \frac{\cos(\beta - \frac{1}{2}\varphi')}{\cos \frac{1}{2}\varphi'} . \end{aligned} \right.$$

Verlangt men de verbetering slechts door een enkele formule te vinden, dan stelle men in (VIII) voor

$$\frac{1}{\cos x} \quad \ldots\ldots \quad 1 + \tfrac{1}{2} x^2$$
$$\cos M \quad \ldots\ldots \quad 1 - \tfrac{1}{2} M^2$$
$$\cos i \quad \ldots\ldots \quad 1 - \tfrac{1}{2} i^2.$$

Hierdoor wordt

$$\left(1 - \frac{\cos i \cos M}{\cos x}\right) = \tfrac{1}{2}(M^2 - x^2) + \tfrac{1}{2} i^2.$$

Substitueert men hierin de waarden van x en i uit (X) dan komt:

$$\left(1 - \frac{\cos i \cos M}{\cos x}\right) = \tfrac{1}{2} M^2 (1 - \operatorname{tang}^2 \tfrac{1}{2}\varphi') + \tfrac{1}{2}\left(i' + M \frac{\cos(\beta - \frac{1}{2}\varphi')}{\cos \frac{1}{2}\varphi'}\right)^2$$

$$2\left(1 - \frac{\cos i \cos M}{\cos x}\right) \operatorname{tang} \varphi' = M^2 (1 - \operatorname{tang}^2 \tfrac{1}{2}\varphi') \operatorname{tang} \varphi' + \left(i' + M \frac{\cos(\beta - \frac{1}{2}\varphi')}{\cos \frac{1}{2}\varphi'}\right)^2 \operatorname{tang} \varphi'$$

en dus

$$\text{(XI)} \quad \ldots \quad S - \varphi' = - 2M^2 \operatorname{tang} \tfrac{1}{2}\varphi' - \left(i' + M \frac{\cos(\beta - \frac{1}{2}\varphi')}{\cos \frac{1}{2}\varphi'}\right)^2 \operatorname{tang} \varphi'$$

$$\text{(XII)} \quad \ldots\ldots \quad = - 2M^2 \operatorname{tang} \tfrac{1}{2}\varphi' - (i' + M)^2 \operatorname{tang} \varphi'$$

dewijl de factor $\frac{\cos(\beta - \frac{1}{2}\varphi')}{\cos\frac{1}{2}\varphi'}$ voor sextanten doorgaans weinig van de eenheid verschilt. Men vindt namelijk, als $\beta = 20°$ en $\frac{1}{2}\varphi'$ van 0° tot 30° genomen wordt, de navolgende waarden voor den genoemden factor:

$S =$	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°
$\frac{\cos(\beta - \frac{1}{2}\varphi')}{\cos\frac{1}{2}\varphi'} =$	0,940	0,970	1,000	1,032	1,064	1,099	1,137

De gevonden formule drukt nu den invloed uit, dien de gezamenlijke fouten in den stand van de spiegels en van den kijker op de meting uitoefenen, in de geoorloofde vooronderstelling:

1°. dat de as, waarom de alhidade draait, loodrecht staat op het vlak van den sextant;

2°. dat de kimspiegel, met behulp der correctieschroeven, evenwijdig is gesteld aan den grooten spiegel.

Het bedrag van M of de helling van den grooten spiegel kan op de volgende wijze bepaald worden. Men neme een zuiver vlak geschaafd latje AB, fig. 123, b. v. een liniaal, en steke daarin twee spelden zoodanig, dat de koppen a en b dier spelden op gelijke hoogte boven het grondvlak komen. Stelt men nu dat latje zoodanig voor den spiegel M, dat de koppen a en b met hunne teruggekaatste beelden a' en b' een rechte lijn vormen, blijkbaar daaruit, dat de vier punten, uit O waargenomen, elkander schijnen te bedekken, dan is de lijn ab loodrecht op het spiegelvlak. Heeft men dus vooraf het vlak CD van den sextant, met behulp van een niveau, zuiver horizontaal gesteld, dan zal ook ab horizontaal moeten zijn, als de spiegel goed staat.

Overgaande tot de bepaling der helling, plaatst men het niveau op den limbus en leest den stand der luchtbel af, welke stand andermaal wordt afgelezen, nadat het niveau op zijne plaats is omgelegd. Vervolgens plaatst men het niveau op het latje, leest den stand der bel af, keert het niveau om en leest andermaal af. Zoo mogelijk zorge men, dat het niveau bij de omlegging op zijne plaats blijft.

Is dit geschied, dan keert men het latje AB om, zoodanig dat het einde B naar den spiegel gericht is, ten einde de mogelijk ongelijke hoogte der spelden te elimineeren. Na de koppen der spelden weder met hunne beelden ineen gebracht te hebben, leest men andermaal de standen van de luchtbel af, waartoe het niveau eerst in de eene, en daarna door omlegging in de andere richting op het latje gesteld wordt. Blijkbaar zal het verschil tusschen de gemiddelde aflezing der luchtbel, als het niveau op den limbus staat, en die als het niveau op het latje gesteld is, de helling des spiegels zijn, in niveau-deelen uitgedrukt.

V o o r b e e l d. Bij het onderzoek van een sextant, vindt men voor de aflezing van het niveau, als volgt:

het niveau op den limbus .... $\frac{(28+44)}{2}$ = ... 36,0 deel

„ „ „ het latje in den eenen stand $\frac{(28,5+44,5)}{2} = 36,5$ } gemidd. = 33,5 „

„ „ „ „ „ „ „ anderen „ $\frac{(22,5+38,5)}{2} = 30,5$ }

Gevraagde helling = 2,5 deel,

en dewijl elk niveaudeel met 46″ overeenkomt, zoo verkrijgt men voor de helling des spiegels 2,5 × 46″ = 1′55″, of nagenoeg 2′. De spiegel staat achterover, dewijl het uiteinde *B* van het latje hooger wordt gevonden dan het vooreinde *A*.

Bij het nemen van deze proef is het zaak, het oog *O* op eenigen afstand van het punt *b* te houden en het hoofd een weinig rechts of links te buigen, om de vier punten een weinig uit elkander te laten gaan. Als *ab* goed staat, moeten de vier punten altijd in een rechte lijn liggen.

Nog valt op te merken, dat het bij het aflezen van den stand der luchtbel op den limbus, raadzaam is, om die aflezingen op verschillende punten van den rand te doen. Meestal toch is de rand niet volkomen vlak en zal men in dit geval den gemiddelden stand der luchtbel voor de verschillende punten in rekening moeten brengen.

Stelt men den afstand der punten *a* en *b* op 500 millimeters, en de fout, die men bij het bedekken van *a* door *b* begaat, op 0,5 millimeters, dan maakt dit $\frac{1}{1000}$ van *ab* uit, welke fout een onzekerheid van $3\frac{1}{2}$ minuut in den te bepalen hoek teweeg brengt. Binnen 10′ of $\frac{1}{6}$° zal men alzoo op de voorschreven manier kunnen beoordeelen of de spiegel goed staat, en de fout, die daardoor in de meting kan begaan worden, zal geen 10″ bedragen.

Zij namelijk $\beta = 20°$, $2\varphi' = 120°$ en $i' = 0$, dan zal formule (XI) bij gevolg aldus kunnen geschreven worden:

$$S - 2\varphi' = -\frac{M^2}{\sin 1''}\left(2 \tan \tfrac{1}{2}\varphi' + \left(\frac{\cos(\beta - \frac{1}{2}\varphi')}{\cos \frac{1}{2}\varphi'}\right)^2 \tan \varphi'\right)$$

of

$$\sin(S - 2\varphi') = -\sin^2 M\,(1{,}55 + 2{,}240)$$
$$\sin(S - 2\varphi') = 3{,}395 \sin^2 10'$$
$$S - 2\varphi' = -6''.$$

Een andere manier om den stand van den grooten spiegel te onderzoeken, als men geen niveau bezit, is de volgende.

Men bevestige een strook stevig papier *AC*, fig. 124, die ongeveer de hoogte heeft van den spiegel, aan een latje, nadat de strook door vijf goed zichtbare horizontale lijnen, op b. v. 10 millimeters afstands van elkander getrokken, in zes gelijke stukken is verdeeld. In het midden

van de lijn *hk* make men een ronde opening *n*, om door te kunnen zien. Men plaatse dan de strook zoodanig voor den spiegel, b. v. op 5 meters afstands, dat door de opening *n* gezien, het beeld van de middelste lijn *hk*, gevormd wordt juist in het midden van den spiegel, waarvan men zich kan overtuigen door op te merken, of de smalle banden van den spiegel, die onder en boven het beeld van het papier zichtbaar zijn, gelijke breedte hebben.

Er wordt een weinig zoekens vereischt, voor dat het papier goed gesteld is. Het gemakkelijkst handelt men, door een licht, b. v. van een ontstoken kaars of lamp, nabij het hoofd te houden, en in dien stand, terwijl het beeld der vlam steeds in den spiegel gezien wordt, zich van den spiegel tot op den gestelden afstand te verwijderen. De plaats, die het papier moet innemen, hierdoor ten naastenbij gevonden zijnde, kan men het licht, desgevorderd, tot de behoorlijke verlichting van het papier, een weinig ter zijde plaatsen en vervolgens aan het papier den juisten stand geven, door het wat hooger of lager te stellen, of wel men kan, met behulp van een kleine wig onder den poot van den sextant, den spiegel zoodanig richten, dat papier en spiegel den vereischten betrekkelijken stand bekomen.

Heeft het papier den behoorlijken stand, dan zal de normaal op het midden des spiegels door het midden van de opening *n*, of hetgeen voldoende is, door een punt van de middelste lijn *hk* gaan.

Men plaatst vervolgens op den limbus de viziertjes *A* en *B*, fig. 112, zoo ver mogelijk uit elkander en richt die zoodanig in *c* en *a*, fig. 124, dat de draad op de papieren strook gezien wordt. Zijn de viziertjes even hoog als het midden van den spiegel, dan moet de draad ook juist de lijn *hk* van het papier bedekken, als de spiegel *M* goed staat. Gebeurt dit echter niet, en ziet men den draad hooger of lager op het scherm dan de genoemde lijn, dan kan hierdoor de helling van den spiegel bepaald worden, zooals in het onderstaande voorbeeld wordt aangewezen.

Het is noodzakelijk de viziertjes bij deze proef met elkander te verwisselen en den gemiddelden stand van den draad waar te nemen, ten einde de ongelijke hoogte der viziertjes, zoo die mocht bestaan, te elimineeren. Om deze reden behoort het vizier *A* een horizontale gleuf te bezitten, waardoor gezien wordt.

Voorbeeld. Bij den vroeger onderzochten sextant is gevonden:

hoogte van het midden des spiegels boven den limbus. . . .	$om =$	20 millimeters
„ der vizieren „ „ „	$ea =$	11,5 „
dus	$a'm =$	8,5 millimet

De draad van het vizier *c* werd gezien in *b*, zoodat men volgens schatting had	$nb =$	12,0 millimet.
dan is	$nb - a'm =$	3,5 „

Dewijl de afstand *nm* 3,7 meters was, zoo hebben wij:

$$\text{tang helling} = \frac{35}{37000} = 0{,}000946$$

of

$$\text{helling} = 3'15'' \text{ (achterover).}$$

Deze uitkomst stemt nagenoeg met de vorige overeen, en ofschoon daarin iets toevalligs moge zijn, zoo zullen wij toch daaruit mogen besluiten, dat de voorgestelde manieren voldoende zijn om binnen de vereischte grens van nauwkeurigheid den stand des spiegels te vinden en hem desgevorderd te verbeteren.

De gemakkelijkste wijze om den stand van den grooten spiegel te rectificeeren en de afwijking van den loodrechten stand bij dien spiegel te bepalen, is die, welke bij de verificatie te Leiden wordt toegepast. Men heeft er twee schermpjes van karton, beide op gelijken afstand, b. v. een centimeter, eenige kenbare horizontale strepen bevattende en in het midden van een kijkertje voorzien. De verdeelingen zijn op beide schermpjes in gewoon- en in spiegelschrift aangeduid. Stelt men nu den sextant op het midden van een tafel, die niet genivelleerd behoeft te zijn, terwijl de beide schermen aan de uiteinden der tafel, met de verdeelingen naar elkander toegekeerd, geplaatst worden, zoodanig, dat men door het kijkertje van het eene scherm, zoowel het andere, als het beeld van datgene waarachter men zich bevindt, kan zien, dan meet men, zooals in fig. 119 wordt aangetoond, dadelijk de helling des spiegels, als men eerst achter het eene, daarna achter het andere schermpje, de deelpunten waarneemt, waarmede de beelden overeenkomen.

Immers zij *lm* de rand van het reflexie-instrument, *no* de tafel, *nd* de eene verdeelde schaal met kijker in *b*, *oa* de andere verdeelde schaal met den kijker in *c*, dan is, als de spiegel den stand *ge* heeft, de waarnemer geplaatst in *b*, en ziet hij den kijker van het andere schermpje in *c*, het beeld van zijn kijker door reflexie in de richting *ba*. Plaatst hij zich bij *c* en wordt het instrument omgekeerd, dan is de spiegel gericht volgens *gi*, terwijl *gf* den loodrechten stand aangeeft. Hij neemt nu de punten *b* en *d* waar en nu is:

$$\angle bhc + \angle cha = 180^\circ \text{ of } \angle bhc + \angle hbc + \angle bch = 180^\circ, \text{ dus}$$
$$\angle cha = \angle hbc + \angle bch,$$
maar $\angle cha = \angle egi$, dus ook $\angle egi = \angle hbc + \angle bch$,
zoodat $\frac{1}{2} \angle egi$ of de helling van den spiegel $= \frac{1}{2}(\angle hbc + bch) = \frac{1}{2}(abc + dcb)$ is.

Men kan nu door het aanbrengen van een reepje papier die helling $= 0$ maken, zooals op pag. 379 is gezegd, of, door de afstanden op de schermen tot minuten te herleiden, de grootte van de helling berekenen.

Het is duidelijk, dat het scherm *ABCD*, fig. 124, ook kan dienen tot de bepaling van de helling i' van den kijker, of liever om die as zuiver evenwijdig aan het vlak van den sextant te stellen. Schroeft men namelijk den kijkerbeugel zoover op, dat de as des kijkers juist komt ter halver hoogte van den spiegel, en verschuift men de alhidade tot dat de groote spiegel nagenoeg rechthoekig staat op die as, dan moet, als de spiegel vooraf goed loodrecht is gesteld, de verlengde as des kijkers door een punt van de middelste lijn *hk* gaan, en moet dus deze lijn vallen midden tusschen de draden van den kijker, als de kijker goed staat. Is dit niet het geval, dan verbetere men den stand des kijkers, zoodat $i' = 0$ zij, door den moerring, waarin de kijker geschroefd wordt, volgens de vroeger medegedeelde wijze te verzetten. Mocht al de groote spiegel niet loodrecht staan, dan wordt toch door deze handelwijze $i' = M$, en de verbetering voor i' of M meer dan tot op de helft verminderd.

Het scherm *ABCD* kan ook nog dienen om den hoek β met genoegzame nauwkeurigheid te bepalen. Men behoeft daartoe op het papier nog slechts eenige vertikale lijnen op een bekenden afstand van elkander te trekken, en vervolgens het scherm weder zoodanig te plaatsen, dat de normaal *mn*, fig. 125, op het midden van den spiegel door het midden van de opening *n* gaat. Zoo mogelijk heeft men den spiegel, door het verschuiven der alhidade, loodrecht op de as des kijkers gesteld. Men zie vervolgens door den kijker en bepale de plaats van het punt *b*, dat in het midden van het veld van den kijker op het scherm gezien wordt. Heeft men de draden van den kijker loodrecht gesteld op het vlak van het werktuig en staan die, zooals het behoort, op gelijken afstand uit het midden van het veld, dan beschouwe men het midden tusschen de draden als het punt *b*.

Meet men vervolgens den afstand *ma* van het midden des spiegels tot het midden van den kijker, dan is hoek $mab = 90°$, als $ma = nb$ is. In de vooronderstelling dat zulks niet het geval zij, trekken wij de lijn *nc* evenwijdig aan *ab*, dan is

$$\text{tang } mnc = \text{tang } \alpha = \frac{mc}{mn} = \frac{ma - nb}{mn}$$

$$\text{hoek } ncm = 90^0 - \alpha$$

Zij voorts *md* evenwijdig aan den kimspiegel getrokken, dan is hoek $amd = \varphi = \frac{1}{2} S$, welke hoek bepaald kan worden door het halve verschil der aflezingen van den nonius te nemen bij den stand van den spiegel, zooals die in de figuur is aangewezen, en bij dien als de beelden van een ver verwijderd voorwerp elkander dekken. Wij hebben dan:

$$\text{hoek } mda = 90^0 - \beta = mab - \varphi = 90 - \alpha - \tfrac{1}{2} S$$

$$\beta = \tfrac{1}{2} S + \alpha = \tfrac{1}{2} S + \frac{ma - nb}{mn \sin 1'}.$$

De hoek β kan ten slotte nog met voldoende juistheid op de volgende wijze gevonden worden. Men stelt den grooten spiegel evenwijdig aan den kimspiegel, en terwijl het werktuig op een tafel ligt, tracht men langs den voorkant van den grooten spiegel ziende, een verwijderd voorwerp A in het oog te krijgen. Zonder iets aan het werktuig te verplaatsen, merke men vervolgens op welk voorwerp B door den kijker gezien wordt. Meet men daarna den hoek tusschen de voorwerpen A en B, dan zal deze hoek $90^\circ - \beta$ zijn.

3°. De niet evenwijdigheid van de voor- en achtervlakken der spiegels.

Bepalen wij ons eerst bij den grooten spiegel. Wanneer de voor- en achtervlakken van den spiegel plat doch niet evenwijdig zijn, dan zullen zij elkander, onbepaald verlengd zijnde, volgens een rechte lijn snijden. Deze lijn van doorsnede kan loodrecht zijn op, evenwijdig zijn aan, of hellen ten opzichte van het vlak van den sextant. Loopt zij evenwijdig aan het genoemde vlak, dan oefent de prismatische gedaante van den spiegel geen merkbaren invloed op de meting uit. Maakt de bedoelde lijn echter zekeren hoek met het vlak van den sextant, dan zullen de doorsneden van de spiegelvlakken met een tweede vlak, dat wij ons evenwijdig aan het vlak van den sextant kunnen denken, een hoek met elkander maken, dien wij h noemen. Alleen in geval de onderlinge doorsnede der spiegelvlakken loodrecht staat op het vlak van den sextant, zal de hoek h tevens de hoek zijn, dien de spiegelvlakken met elkander maken. In alle andere gevallen zal h daarvan verschillen.

Zijn de voor- en achtervlakken van den spiegel niet evenwijdig, dan zal de lichtstraal OL, fig. 126, die in L de voorvlakte van den spiegel $ABCD$ onder den hoek MLO treft, en volgens LI gebroken, in het punt I op het achtervlak van den spiegel volgens IG teruggekaatst wordt, bij zijne uittrede uit het glas volgens GF, een hoek FGN met den normaal op het voorvlak maken, die van den invallingshoek MLO zal verschillen.

Noemen wij den hoek, dien de invallende straal OL met de normaal op het achtervlak van den spiegel maakt, α, en den hoek, dien de uitvallende straal met de normaal op dat vlak maakt, α', dan is hoek $OLM = \alpha + h$ en hoek $FGN = \alpha' - h$. Zij verder hoek $HLI = f$, hoek $EGI = e$ en hoek $GIE = LIH = I$, dan geven ons de driehoeken GIE en LIH:

$$\begin{aligned} e + I + 90 + h &= 180^\circ \\ f + I + 90^\circ - h &= 180^\circ \\ \hline f - e &= 2h \\ f + e &= 180^\circ - 2I. \end{aligned}$$

Zij k de brekingscoëfficient van de glassoort, dan is

$$k \sin e = \sin (\alpha' - h) \quad \text{en} \quad k \sin f = \sin (\alpha + h)$$

waaruit

$$\sin f \mp \sin e = \frac{1}{k} \{\sin (\alpha + h) \mp \sin (\alpha' - h)\}$$

of

$$\sin \tfrac{1}{2} (f - e) \cos \tfrac{1}{2} (f + e) = \frac{1}{k} \sin \tfrac{1}{2} (\alpha - \alpha' + 2h) \cos \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha')$$

en

$$\cos \tfrac{1}{2} (f - e) \sin \tfrac{1}{2} (f + e) = \frac{1}{k} \cos \tfrac{1}{2} (\alpha - \alpha' + 2h) \sin \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha').$$

Substitueeren wij hierin de boven gevonden waarden van $(f - e)$ en $(f + e)$, dan komt:

$$\sin h \sin I = \frac{1}{k} \sin \tfrac{1}{2} (\alpha - \alpha' + 2h) \cos \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha')$$

$$\cos h \cos I = \frac{1}{k} \cos \tfrac{1}{2} (\alpha - \alpha' + 2h) \sin \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha').$$

Dewijl h zeer klein is en dus ook $(\alpha - \alpha')$ klein blijft, zoo mogen wij in de laatstgevonden formules $\cos h$ en $\cos \tfrac{1}{2} (\alpha - \alpha' + 2h)$ gelijk de eenheid, en de sinussen dier grootheden evenredig met de bogen stellen. Hierdoor komt

$$2h \sin I = \frac{1}{k} (\alpha - \alpha' + 2h) \cos \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha')$$

$$\cos I = \frac{1}{k} \sin \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha')$$

waaruit

$$\alpha - \alpha' + 2h = \frac{2hk \sin I}{\cos \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha')} = 2hk \frac{\sqrt{(1 - \cos^2 I)}}{\cos \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha')}$$

$$= 2hk \frac{\sqrt{\left\{1 - \frac{1}{k^2} \sin^2 \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha')\right\}}}{\cos \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha')}$$

$$= 2h \sqrt{\left\{\frac{k^2 - \sin^2 \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha')}{\cos^2 \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha')}\right\}}$$

$$= 2h \sqrt{\left\{\frac{k^2 - 1 + \cos^2 \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha')}{\cos^2 \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha')}\right\}}$$

$$= 2h \sqrt{\{1 + (k^2 - 1) \sec^2 \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha')\}}.$$

Stellen wij

$$\sqrt{(k^2 - 1)} \sec \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha') = \operatorname{tang} \delta$$

dan wordt

$$\alpha - \alpha' + 2h = 2h \sec \delta$$

en

$$\alpha - \alpha' = 2h (\sec \delta - 1).$$

Dewijl de brekingscoëfficient k nagenoeg $= 1,545$ is, zoo vindt men $\sqrt{(k^2 - 1)} = 1,1783$, waardoor

$$\tang \delta = 1,1783 \sec \tfrac{1}{2} (\alpha + \alpha').$$

Ten einde de verbetering te vinden, die op den gemeten hoek voor de niet evenwijdigheid van de voor- en achtervlakken van den grooten spiegel moet worden toegepast, merken wij op, dat de driehoeken *KMF* en *KEM*, fig. 127, ons geven:

$$\varphi + 90^0 + \beta + 90^0 - \alpha' = 180^0 \qquad \alpha + \alpha' = \psi + 2\beta$$
$$\alpha' = \varphi + \beta \,.\,.\,.\,.\,.\,.\,.\,.\,.\,.\, 2\alpha = 2\varphi + 2\beta$$
$$\alpha - \alpha' = \psi - 2\varphi$$

of

$$\psi = 2\varphi + \alpha - \alpha' = 2\varphi + 2h(\sec \delta - 1)$$

waarin h positief is aangenomen, als het dunnere uiteinde van den spiegel naar den limbus is gericht.

Voorts is ook bij de bepaling van de index-correctie de invloed van de niet evenwijdigheid van de vlakken des spiegels te wachten. Dewijl bij die bepaling de stand der alhidade gezocht wordt voor $\psi = 0$, zoo wordt in dat geval $\alpha + \alpha' = 2\beta$. Stellen wij nu dat onder deze omstandigheid δ in δ' overgaat, dewijl de afwijking van den teruggekaatsten straal met den hoek, waaronder de straal invalt, verandert, dat φ' de waarde van φ vervangt en dat S de voor index-correctie verbeterde boog is, die bij den hoek ψ behoort, dan is

$$S = 2\varphi - 2\varphi'$$
$$\psi = 2\varphi + 2h(\sec \delta - 1)$$
$$0 = 2\varphi' + 2h(\sec \delta' - 1)$$

$$\text{(XIII)} \quad .\,.\,.\,. \quad \left\{ \begin{array}{l} \psi = S + 2h(\sec \delta - \sec \delta) \\ \text{en} \\ \tang \delta = 1,1783 \sec \tfrac{1}{2}(\alpha + \alpha') = \sec \tfrac{1}{2}(S + 2\beta) \\ \tang \delta' = 1,1783 \sec \beta. \end{array} \right.$$

Ons blijft nog over om aan te toonen, op welke wijze de waarde van den hoek h kan bepaald worden. Men mete daartoe een hoek tusschen twee voorwerpen, die zoo ver mogelijk uit elkander liggen, en bepale de index-correctie. Vervolgens keere men den grooten spiegel voorzichtig in zijn huisje om, het onderst boven, stelle hem zuiver loodrecht, herhale de meting tusschen de beide voorwerpen en bepale de index-correctie op nieuw.

Zijn dan S en S' de voor index-correctie verbeterde aflezingen, dan heeft men:

$$\psi = S + 2h(\sec \delta - \sec \delta')$$
$$\psi = S' - 2h(\sec \delta - \sec \delta')$$
$$0 = S - S' + 4h(\sec \delta - \sec \delta')$$

$$h = \frac{S' - S}{4(\sec \delta - \sec \delta')}$$

$$\psi = \tfrac{1}{2}(S + S').$$

Zijn de oppervlakken van den kimspiegel niet aan elkander evenwijdig, dan ontstaat daaruit een andere fout. De lichtstraal, afkomstig van het voorwerp, waarop de kijker rechtstreeks is gericht, ondergaat bij het doorgaan door het glas een afwijking en voor den dubbel gereflecteerden lichtstraal van het andere voorwerp is de hoek van inval niet gelijk aan dien van terugkaatsing. De loop van beide lichtstralen is echter voor den kimspiegel dezelfde, welke ook de gemeten hoek zij, en de fout, die alzoo door de onvolkomenheid van dezen spiegel in de meting ontstaat, is voor alle hoeken even groot. Die fout wordt dus ook bij de bepaling der index-correctie begaan en de prismatische gedaante van den kimspiegel zal mitsdien zonder invloed op de meting blijven, indien men de index-correctie toepast, zoodanig als die onmiddellijk door den sextant gegeven wordt. Men zij echter hierbij indachtig, dat de kijker bij het meten van den hoek en bij de bepaling der index-correctie, op dezelfde hoogte boven het vlak van den sextant moet staan.

Ook de gekleurde glazen zullen standvastige fouten veroorzaken, als de oppervlakken niet evenwijdig zijn, zooals wij reeds vroeger opmerkten. Die fout is echter onschadelijk als men de glazen 180° kan omleggen, of als men de index-correctie bepaalt met dezelfde glazen, die voor de meting gediend hebben, hetgeen echter bij het meten van den afstand tusschen de zon en de maan niet mogelijk is.

4°. De excentriciteit van den sextant en de onjuiste grootte van de graden der verdeeling.

Wanneer de alhidade zich beweegt om een punt, dat buiten het middelpunt der verdeeling is gelegen, dan zal men door den nonius niet volkomen de verplaatsing van de alhidade aflezen. De afstand van het middelpunt der verdeeling tot het middelpunt van de as, waarom de alhidade draait, is de liniaire uitmiddelpuntigheid of excentriciteit van die as.

Een andere fout, die men in de aflezing kan begaan, vloeit voort uit de onjuiste grootte van de graden der verdeeling. Deze fout is met die, welke uit de excentriciteit van de as der alhidade ontstaat, ten nauwste verbonden en kan bij sextanten niet met juistheid daarvan worden afgezonderd.

Laat DO, fig. 128, de verdeelde rand van den sextant, C het middelpunt der verdeeling en O daarvan het nulpunt zijn. Stellen wij dat de alhidade, in plaats van om het punt C, zich om eenig punt A beweegt. Is dan om zekeren hoek te meten de alhidade van O tot D verschoven, dan heeft zij den hoek OAD doorloopen, terwijl men den boog OD afleest, welke boog niet de maat is van den hoek OAD, maar van den hoek OCD. Zoeken wij de betrekking tusschen deze twee hoeken.

Hiertoe is in de driehoeken ABD en CBO:

$$DAB + ADB = BCO + BOC$$

waaruit

$$DAB = DAO = BCO + BOC - ADB,$$

en $BOC - ADB = f$ zal de verbetering zijn, die voor de excentriciteit op den hoek CDO moet worden toegepast.

In de driehoeken ACD en AOC is

$$\sin ADC = \frac{AC}{AD} \sin ACD \qquad \text{en} \qquad \sin AOC = \frac{AC}{AO} \sin ACO$$

of

$$ADC = \frac{AC}{AD \sin 1''} \sin ACD \qquad \text{en} \qquad AOC = \frac{AC}{AO \sin 1''} \sin ACO$$

De ligging van het punt A ten opzichte van het punt C kan worden uitgedrukt door den afstand AC en den hoek OCA, welken hoek wij van O naar D tot 360° tellen. Zij ter bekorting $AC = e$, $OC = R$, hoek $ACO = \varphi$ en hoek $DCO = \frac{1}{2} S$ en stellen wij $AD = AO = OC$, hetgeen geoorloofd is, dewijl e klein is, dan komt:

$$f = \frac{e}{R \sin 1''} \sin \varphi - \frac{e}{R \sin 1''} \sin (\varphi - \tfrac{1}{2} S)$$

of dewijl op den sextant de fout in den hoek overeenstemt met een dubbele fout in de aflezing:

$$f = \frac{2e}{R \sin 1''} \left\{ \sin \varphi - \sin (\varphi - \tfrac{1}{2} S) \right\}.$$

Schrijven wij voor $\frac{2e}{R \sin 1''}$, N, dan komt na ontwikkeling:

$$f = N \cos \varphi \sin \tfrac{1}{2} S + N \sin \varphi (1 - \cos \tfrac{1}{2} S)$$

welke uitdrukking onder dezen eenvoudigen vorm kan gebracht worden:

$$f = p \sin \tfrac{1}{2} S + q (1 - \cos \tfrac{1}{2} S),$$

door $p = N \cos \varphi$ en $q = N \sin \varphi$ te stellen.

Om van de gevonden formule gebruik te kunnen maken, ter bepaling van f voor een willekeurigen hoek, moet men N en φ kennen. Ziehier hoe die grootheden bepaald kunnen worden.

Stelt men zich voor, dat de sextant volkomen gerectificeerd is, dan zal men door het meten van een bekenden hoek de waarde van f voor dien hoek vinden, door het verschil te nemen tusschen den afgelezen en den bekenden hoek, in de vooronderstelling dat alle andere fouten nul zijn. Meet men vervolgens een anderen bekenden hoek, dan vindt men

op soortgelijke wijze een verschil f' en men zal dus het navolgende stel vergelijkingen bekomen:

$$f = (\sin \tfrac{1}{2} S) p + (1 - \cos \tfrac{1}{2} S) q$$
$$f' = (\sin \tfrac{1}{2} S') p + (1 - \cos \tfrac{1}{2} S') q$$

waaruit op de gewone wijze p en q en vervolgens N en φ kunnen worden opgelost.

Tot dusverre hebben wij de onjuiste grootte van de graden der verdeeling buiten rekening gelaten. Ten einde ook die in aanmerking te nemen, stellen wij dat elke graad van den verdeelden rand z^{sec} te klein zij, dan zal dit bij een hoek, die $\frac{1}{2} S$ graden bevat, in de aflezing van den rand een fout van Sz^{sec} te weeg brengen.

Noemen wij de gezamenlijke fout, die uit de excentriciteit en de onjuiste grootte der graden voortvloeit, x, dan is

$$\text{(XIV)} \quad . \; . \; . \quad x = (S) z + (\sin \tfrac{1}{2} S) p + (1 - \cos \tfrac{1}{2} S) q.$$

Een tweede en derde waarneming zoude op overeenkomstige wijze geven:

$$x' = (S') z + (\sin \tfrac{1}{2} S') p + (1 - \cos \tfrac{1}{2} S') q$$
$$x'' = (S'') z + (\sin \tfrac{1}{2} S'') p + (1 - \cos \tfrac{1}{2} S'') q$$

en men zou uit een theoretisch oogpunt, met behulp van drie waarnemingen, z, p en q kunnen bepalen.

De weinig uiteenloopende waarden echter, die men aan $\frac{1}{2} S$ kan geven, maken dat de gevonden uitkomst steeds zeer onzeker blijft. De kleine boog, dien de limbus van den sextant bevat, doet de fout, die uit de excentriciteit voortvloeit, dermate samenvallen met die, welke een gevolg is van de onjuiste grootte der graden, dat men beide fouten bij den sextant, zooals gezegd is, niet met juistheid kan afzonderen.

5°. Het doorbuigen der alhidade.

Wanneer de alhidade, na aan den rand te zijn vastgeklemd, met behulp van de stelschroef in de een of andere richting verplaatst wordt, dan zal de groote spiegel door de wrijving van de as, waarom de alhidade draait, niet onmiddellijk in die beweging deelen. Men heeft zich dus voor te stellen, dat de alhidade een buiging ondergaat, totdat de bedoelde wrijving overwonnen wordt, en klaarblijkelijk zal de aflezing van den rand te groot zijn, als de alhidade door de stelschroef in de richting is bewogen, volgens welke de graden van den rand voortloopen, terwijl zij te klein zal wezen, als de schroef in de tegengestelde richting is gedraaid.

De buiging van de alhidade heeft geen standvastig bedrag. Zij hangt af van de meerdere of mindere wrijving, die de as der alhidade ondervindt, en zal dus hoogst waarschijnlijk bij een sextant, die lang in ge-

bruik is, grooter zijn, dan wanneer het werktuig pas uit de handen van den maker komt. Bespeurt men, zooals somtijds voorkomt, dat de wrijving voor verschillende standen der alhidade veranderlijk is, dan behoort het werktuig te worden nagezien.

De invloed van de buiging der alhidade kan op tweeërlei wijzen worden opgeheven, als:

1°. door de stelschroef, bij de bepaling der index-correctie en bij de eigenlijke meting, steeds in dezelfde richting te draaien;

2°. door bij een reeks van waarnemingen de eene helft te verrichten door de stelschroef in de eene richting, de andere helft door die in de tegengestelde richting te draaien. Hierdoor zal de gemiddelde waarneming van den invloed der buiging bevrijd wezen, en zal ook het bezwaar van een ongelijke wrijving voor verschillende punten van den rand zijn opgeheven. Uit den aard der zaak moet dit ook bij de bepaling der index-correctie worden in acht genomen.

De eerste manier verdient weinig aanbeveling, omdat men zoo licht vergeet in welke richting de schroef is gedraaid.

Verlangt men den invloed der buiging te kennen, dan bepale men de index-correctie b. v. op de zon en draaie bij die bepaling de stelschroef eerst in de eene en daarna in de tegengestelde richting. Verkrijgt men dan voor beide bepalingen dezelfde waarde, dan is de buiging n u l, doch vindt men daartusschen eenig verschil, dan zal dit het bedrag van de dubbele doorbuigings-fout zijn.

Bij vertikalen stand van den sextant, heeft men b. v. door de schroef r e c h t s om te draaien, de randen van de zon in aanraking gebracht. Zij

de aflezing bij de 1ste aanraking	=	— 31′40″
„ „ „ „ 2de „	=	+ 33′10″
dan is index-correctie	=	+ 0′45″
halve middellijn	=	16′12″,5.

Op overeenkomstige wijze, doch door de schroef l i n k s om te draaien, vindt men:

de aflezing bij de 1ste aanraking	=	— 31′51″
„ „ „ „ 2de „	=	+ 33′ 0″
dan is index-correctie	=	+ 0′34″,5
halve middellijn	=	16′13″

en de invloed van de buiging zal dus zijn:

$$\tfrac{1}{2}(45'' - 34'',5) = 5'',25.$$

De waarde van de halve middellijn moet volgens beide bepalingen dezelfde zijn, omdat zij het vierde gedeelte is van den boog, dien de alhidade bij de eene en andere aanraking heeft doorloopen. Geschiedt de beweging tusschen de aanrakingen der randen in denzelfden zin, zij moge

rechts of links wezen, dan is de doorgeloopen ruimte op den rand de juiste maat van de halve middellijn en alzoo bevrijd van den invloed der buiging.

Een punt, dat hierbij nog aandacht verdient, is, dat men zich overtuigen moet, of het oog de aanraking van de randen der zonnebeelden op dezelfde wijze beoordeelt als de beelden naar elkander toe- en als zij van elkander afgaan. Geeft men bij de bepaling der halve middellijn aan de beelden, ter wederzijde van het nulpunt, eerst de eene en daarna de andere beweging, dan moet de index-correctie dezelfde blijven, doch de halve middellijn kan verschillen. Eerst dan, wanneer men bevindt, dat het oog de aanraking der beelden, volgens de twee manieren verkregen, op gelijke wijze beoordeelt, zal de buiging, zooals die in het bovenstaande voorbeeld is bepaald, vrij van personeele fouten zijn.

De kapitein ter zee M. MAGNAGHI van de Italiaansche Marine, directeur van het observatorium te Genua, heeft een schoone theorie over de fouten van den sextant in het licht gegeven. Een vertaling daarvan vindt men in de Revue Maritime et Coloniale 1873 en 1874, van de hand van den Lieut. de vaisseau L. BESSON. Het zou ons te ver voeren, die geheele theorie hier op te nemen; alleen merken wij op, dat de schrijver nog strenger dan ENCKE in zijne verhandeling, voorkomende in het Berliner Astron. Jahrbuch 1830, de fouten van het instrument en haar invloed op den afgelezen hoek van elkander heeft afgescheiden.

Terwijl wij de bestudeering van deze theorie den lezer ernstig aanbevelen, willen wij hier alleen de slotsom der beschouwingen, zooals zij volgt uit de streng wiskundige formules, welke van elk der fouten den invloed voorstellen, mededeelen.

De verschillende fouten van een sextant, daarin overblijvende nadat hij zoo goed mogelijk gerectificeerd is, zullen alleen noemenswaardigen invloed hebben bij het meten van zeer groote en van zeer kleine hoeken, zoodat men in de praktijk moet trachten het gebruik van zulke hoeken zooveel mogelijk te vermijden.

Men moet de grootst mogelijke zorg besteden aan den loodrechten stand der spiegels en aan de evenwijdigheid van de as des kijkers aan het vlak der verdeeling, terwijl men trachten moet de juiste grootte te bepalen van de hoeken, die de voor- en achtervlakken der spiegels met elkander maken.

Daar het instrument gedurende de waarneming in de hand wordt gehouden, kan de sextant nooit onbewegelijk zijn en daarom moet de vergrooting des kijkers middelmatig zijn, opdat een behoorlijk veld van waarneming behouden blijve. Men verliest anders bij de minste beweging van de hand het teruggekaatste beeld, dat men telkens van de eene naar de andere zijde zich ziet verplaatsen.

Met de beste kijkers voor sextanten heeft men groote moeite om een

hoek van 10" te schatten, zoodat men geen grootere nauwkeurigheid bij de hoekmeting zal mogen verwachten. Daar dus de waarnemingsfouten tot 10" kunnen beloopen, zal men voorzeker een fout van 3", voortspruitende uit de onvolkomenheid van het instrument, mogen verwaarloozen, en wij moeten dus aantoonen, aan welke voorwaarden voldaan dient te worden, opdat de totale fout van het instrument die grens van 3" niet overschrijde.

Door in de formules de waarden te bepalen van den hoek, die gevormd wordt door de voor- en achtervlakken van den grooten spiegel, van den hoek, dien de spiegelende oppervlakken der beide spiegels met elkander maken, van de helling der optische as van den kijker en van den hoek door de vlakken des kleinen spiegels met elkander gevormd, welke, in de meest ongunstige omstandigheden, elk der fouten gelijk aan 3" doen worden, kan men, zoowel voor de zeer kleine, als voor de bijzonder groote hoeken, die met den sextant worden gemeten, de grenzen vinden, waarbinnen de verschillende onvolkomenheden van den sextant moeten blijven, opdat de fouten, door haar op den afgelezen hoek teweeg gebracht, verwaarloosd mogen worden.

De daartoe noodige berekeningen geven ons de volgende tabellen, die, voor verschillende grootten der gemeten hoeken, de fouten der verschillende deelen van den sextant aangeven, welke een invloed van 3" op de uitkomst of de aflezing kunnen uitoefenen.

Bij waargenomen hoeken van :	Mag de hoek gevormd door de vlakken des kleinen spiegels grooter zijn dan:	Mag het verschil in helling der beide spiegels grooter zijn dan:
10'	4",7	31",0
30'	13 ,3	53 ,8
1°	24 ,5	1'16 ,1
2°	43 ,2	1 47 ,6
5°	1'25 ,6	2 50 ,3
10°	2 16 ,9	4 1 ,8
20°	3 33 ,8	5'47 ,4

Bij waargenomen hoeken van :	Mag de hoek gevormd door de vlakken des grooten spiegels grooter zijn dan:	Mag de helling van de optische as des kijkers grooter zijn dan :
130°	0",28	4'26",9
120°	0 ,48	5 18 ,6
110°	0 ,74	6 12 ,3
100°	1 ,05	7 1 ,6
90°	1 ,51	8 10",2
80°	2 ,10	9 18",2
70°	2 ,91	10 36 ,0
60°	4 , 6	12 7 ,9

Men kan gemakkelijk den kleinen spiegel zoo zuiver vervaardigen dat hij aan de in deze tabellen gestelde eischen voldoet, maar dit is niet altijd te bereiken bij den grooten spiegel. Het is dus zeer aan te bevelen dat men den hoek, die zijne vóór- en achtervlakken met elkander maken, met groote nauwkeurigheid tracht te bepalen, en voor die waarde de correctiën berekent, welke men op elken te meten hoek moet toepassen. De stand van de optische as en de onderlinge stand der beide spiegels kunnen door den waarnemer altijd voldoende gerectificeerd worden, opdat de fouten, die hierin overblijven of daardoor ontstaan, verwaarloosd mogen worden.

e. HET ONDERZOEK VAN DEN SEXTANT DOOR HET METEN VAN BEKENDE HOEKEN.

Wanneer wij de vroeger gevonden formules vereenigen, waardoor de invloed van kleine gebreken van den sextant op de meting wordt uitgedrukt, dan hebben wij:

1°. voor den niet loodrechten stand des grooten spiegels en de helling van de as des kijkers:

(XII) . . $\text{verbetering} = -2 \operatorname{tang} \tfrac{1}{2} S\, M^2 - \operatorname{tang} \tfrac{1}{2} S\, (i' + M)^2$

2°. voor de niet evenwijdigheid van de voor- en achtervlakken des grooten spiegels:

(XIII). . . . . $\left\{ \begin{array}{l} \text{verbetering} = 2\, h\, (\sec \delta - \sec \delta') \\ \operatorname{tang} \delta = 1{,}1783 \sec (\tfrac{1}{2} S + \beta) \\ \operatorname{tang} \delta' = 1{,}1783 \sec \beta \end{array} \right.$

3°. voor de excentriciteit en de onjuiste lengte der graadverdeeling:

(XIV) . . . $\text{verbetering} = Sz + \sin \tfrac{1}{2} Sp + (1 - \cos \tfrac{1}{2} S)\, q.$

Stellen wij nu de geheele fout G in de meting voor door de som der gedeeltelijke fouten, hetgeen, ofschoon niet volkomen juist, voor ons doel geoorloofd is, dan zullen wij daarvoor een uitdrukking verkrijgen van den vorm:

$$G = -AM^2 - B(i' + M)^2 + Ch + Dz + Ep + Fq$$

waarin zes onbekende grootheden:

$$M, (i' + M), h, z, p, q$$

voorkomen, tot welker bepaling minstens zes waarnemingen van nauwkeurig bekende hoeken worden vereischt. Meet men namelijk die hoeken met den sextant, dan zullen de verschillen tusschen den waren hoek en dien, welken de sextant geeft, zes waarden van G voor zes bogen van 0° tot 120° doen kennen, waarmede zes vergelijkingen kunnen opgesteld worden, waaruit de zes onbekenden zijn op te lossen.

De aard van de bekende coëfficienten A, B, C, D, E en F brengt mede, dat allen voor $S = 0$ ook nul worden, en dat zij vervolgens met

den te meten boog aangroeien. A, B en C nemen eerst langzaam, daarna sneller toe; D groeit regelmatig aan; doch E en F ondergaan in den aanvang een grootere toeneming dan later. Nu volgt hieruit, dat wanneer de fouten niet groot zijn, hetgeen een vereischte is, de veranderingen, die zij van een boog S tot een boog S' ondergaan, ook nagenoeg evenredig zullen zijn met de toe- of afneming van S tot S', indien namelijk het verschil tusschen S en S' niet groot is. Heeft men dus toch minstens zes waarnemingen van zes verschillende bogen S noodig, om de fouten van den sextant voor bogen van 20° tot 20°, en met behulp van deze de onbekende coëfficienten te bepalen, om de algemeene correctieformule samen te stellen, dan zal men voor de tusschenliggende punten de fouten even nauwkeurig en met veel meer gemak door interpolatie kunnen vinden, dan door de formule, en de berekening van de bedoelde coëfficienten zal dus veilig achterwege kunnen blijven.

Maakt men, volgens het vroeger medegedeelde, M en i' tot op weinige minuten na, nul, dan zouden deze grootheden uit de formule kunnen verdwijnen. Een omkeering van den grooten spiegel, ter bepaling van h, baat althans bij den sextant weinig, omdat men niet tevens de excentriciteit kan vinden. Er blijven dus onder de gunstigste omstandigheden nog vier onbekenden over, en deze zullen, indien men tot de opzettelijke bepaling daarvan overging, nog immer zeer onzeker blijven, wegens de weinig uiteenloopende waarden, die men aan S kan geven.

De slotsom van onze beschouwing is alzoo, dat men den stand der spiegels en van den kijker zoo goed mogelijk moet rectificeeren, en door herhaaldelijk bekende hoeken te meten, de fouten van den sextant moet bepalen. Zijn die fouten goed bepaald, dan kan men, door de navolgende graphische constructie, de fouten voor de tusschenliggende punten vinden. Men trekke een rechte lijn, verdeele haar b. v. in 120 gelijke deelen, beschouwe deze als de graadverdeeling van den rand en richte in de deelpunten loodlijnen op. Vervolgens zet men op de loodlijnen, die in de deelpunten staan, voor welke de fouten zijn bepaald, onder en boven de eerstgenoemde lijn, naar gelang van het teeken der fouten, naar een willekeurige schaal, b. v. van 5″ op den millimeter, die fouten als ordinaten af en trekt uit de hand een kromme lijn, die zonder kleine bochten, zoo na mogelijk door de aldus verkregen punten gaat. Elke ordinaat van die kromme lijn zal dan voor het punt van den rand, waarbij hij behoort, de gemiddelde waarde van de fout van den sextant voorstellen, waarvan vervolgens een tafeltje, b. v. van 10° tot 10°, kan gemaakt worden. Men behoeft dan slechts bij het meten van hoeken dat tafeltje te raadplegen om den gemeten hoek onmiddellijk te kunnen verbeteren. Is het besluit waartoe wij geraken eenvoudig, zoo hebben wij echter in een min of meer uitvoerige beschouwing moeten treden, om tot het bedoelde besluit te kunnen komen.

Gaan wij thans na, op welke wijze de fouten van den sextant door het meten van bekende hoeken kunnen bepaald worden. Wanneer men zich op een plaats bevindt, vanwaar men een vrij uitzicht heeft en waar zich in de verte eenige meer of minder regelmatig verdeelde torenspitsen vertoonen, dan kunnen deze op de volgende manier tot het onderzoek van den sextant worden gebezigd. Denken wij ons drie torens A, B en C, twee aan twee toevalligerwijze op 120° afstands van elkander verwijderd, dan zullen wij achtereenvolgens de hoeken tusschen A en B, B en C, en C en A kunnen meten, en de som dier hoeken zal juist 360° moeten bedragen, als de sextant een hoek van 120° met juistheid aangeeft. Vindt men echter tusschen 360° en de bedoelde som eenig verschil, dan zal $\frac{1}{3}$ daarvan de fout van den sextant voor 120° zijn. Uit den aard der zaak moeten soortgelijke waarnemingen met de meeste zorg gedaan, meermalen herhaald en steeds uit hetzelfde punt genomen worden, waartoe het raadzaam is den sextant horizontaal op een tafel te leggen, zoodanig, dat het pootje onder den grooten spiegel steeds op hetzelfde punt komt.

Zijn er vier torens te zien, die ongeveer 90° uit elkander liggen, dan kan op soortgelijke wijze de fout van den sextant voor 90° gevonden worden, enz.

Nadat op die wijze de fout bij 120° of 90° zoo goed mogelijk is bepaald, zie men om naar drie voorwerpen, zoodanig ten opzichte van elkander gelegen, dat de uiterste b. v. ongeveer 120° uit elkander staan en het derde zich nagenoeg in het midden bevindt, en dus op afstanden van de beide andere van 60° en 60° of 70° en 50°. Meet men dan de hoeken tusschen die voorwerpen, dan moet de som daarvan gelijk zijn aan den hoek tusschen de beide uiterste voorwerpen. Dewijl men volgens de vooronderstelling den laatstbedoelden hoek goed kent, zoo zal het halve verschil tusschen dezen, en de som der beide andere hoeken de fout van den sextant bij 60° zijn, enz. Een bezwaar, dat aan de voorgestelde manier verbonden is, bestaat hierin, dat de voorwerpen dikwijls niet helder genoeg zijn, om nauwkeurige metingen toe te laten. De weersgesteldheid oefent daarop belangrijken invloed uit.

Een ander zeer geschikt middel, om den sextant te onderzoeken, wordt gegeven door correspondeerende zonshoogten, wanneer men zich op een plaats bevindt, waarvan de Breedte goed bekend is (1). Men mete namelijk, met behulp van den artificiëelen horizon, waarover later, voor en na den doorgang zoowel gelijke boven- als onderrandshoogten van de zon, van beide een gelijk aantal, zoodat men b. v. zes boven-

(1) Ofschoon de lezer geacht wordt de hieronder voorkomende zaken nog niet beoefend te hebben, zoo is het ons nogtans raadzaam voorgekomen, het bedoelde onderzoek hier en niet later te behandelen, ten einde alle onderwerpen, die op de reflexie-werktuigen betrekking hebben, bijeen te houden.

en zes onderrandshoogten met de daarbij behoorende aanwijzingen van een tijdmeter tot een gemiddelde hoogte en een gemiddelden tijd kan vereenigen. Bepaalt men dan, uit al de waargenomen correspondeerende hoogten, den stand van den tijdmeter tot den waren tijd van de waarnemingsplaats, welke stand voor den waren middag geldt, dan zal het niet moeilijk vallen om voor elk stel correspondeerende hoogten den uurhoek van de zon, die bij de voor- of de namiddaghoogte behoort, te berekenen, waarbij natuurlijk op den gang des tijdmeters tusschen de waarnemingen moet gelet worden, en streng genomen de verloopen tijd, dien hij aangeeft, tot waren tijd moet herleid worden. Kent men hierdoor den uurhoek der zon, tijdens elke hoogte, dan berekene men de ware hoogte der zon voor dat oogenblik met behulp van den uurhoek, de declinatie van de zon van het oogenblik en de Breedte der waarnemingsplaats. Vergelijkt men vervolgens de aldus gevonden hoogte der zon met de gemeten hoogte, nadat deze, door het toepassen van de noodige correctiën, tot ware hoogte is herleid, dan zal het verschil dier hoogten de halve fout van den sextant zijn, die bij de aflezing van de laatstgenoemde behoort, dewijl men bij het gebruik van den artificiëelen horizon, zooals wij zien zullen, immer de dubbele schijnbare hoogte meet. Het opteekenen van den stand van barometer en thermometer is inzonderheid bij kleine hoogten aan te bevelen, ten einde bij de herleiding van de ware tot de schijnbare hoogte, die refractie te kunnen bezigen, welke met den toestand van den dampkring op het oogenblik der waarneming overeenkomt.

Verandert de zon tusschen de waarnemingen niet of zeer weinig van declinatie, zooals het geval is, als zij zich in de nabijheid van de zonnestanden bevindt, dan geeft de half verloopen tijd tusschen elk stel correspondeerende hoogten den uurhoek der zon onmiddellijk, mits de gang des tijdmeters in rekening worde gebracht, en het bedoelde tijdsverloop in waren tijd worde uitgedrukt. Reeds op een enkelen dag des zomers zal men op onze Breedte de fouten van een sextant op deze wijze kunnen vinden voor aflezingen van 30° tot 120°, en door de herhaling van dit onderzoek op verschillende dagen, spoedig tot een benaderde kennis van de bedoelde fouten kunnen geraken.

Bevindt men zich op een plaats, waar tijdseinen gegeven worden, dan kan de bewerking een vereenvoudiging ondergaan, dewijl men dan den stand van den tijdmeter tot den waren tijd der waarnemingsplaats niet door correspondeerende hoogten behoeft te bepalen, maar hem uit de waarneming van het tijdsein zeer gemakkelijk kan afleiden.

Tot toelichting hiervan diene het navolgende voorbeeld.

Den 11den April 1864 zijn, aan het Nieuwediep, met een sextant des voormiddags achtereenvolgens waargenomen eenige boven- en onderrandsaanrakingen der zonnebeelden, met behulp van den artificiëelen

horizon. De overeenkomstige aflezingen van een tijdmeter en van den sextant waren:

$11^u41^m52^s,5$ 11 47 38 ,5	. . . . $79°59'10''$
11 57 14 ,0 0 3 44 ,0	. . . . 82 43 20
0 18 45 ,0 0 26 55 ,5	. . . . 86 2 10
0 36 36 ,0 0 47 7 ,0	. . . . 88 14 5
0 47 56 ,0 1 1 25 ,0	. . . . 89 22 25
1 3 35 ,0 1 33 9 ,0	. . . . 90 35 0.

Indien de index-correctie $+2'',5$ en de halve middellijn der zon $16'1'',3$ is, en het vallen der seinborden, naar aanwijzing van den tijdmeter, te $1^u36^m57^s$ wordt waargenomen, vraagt men de fouten van den sextant.

Gegevens.

11 April te 0^u Greenw. ⊙ declin. = $8°31'\ 4'',1$ N. tijdvereff. = $0^m57^s,5$ (aftr.)
verand. in 1^u = $+\ 55'',24$ . . . . = $-\ 0^s,677$
N.Br. waarnemingsplaats = $52°57'30''$, = b O.L. = $4°16'36''$
barometer = 765,5 m.m. thermometer = $13°,3$ CELSIUS.

Aanw. tijdm. = $11^u41^m52^s,5$ . . . . = $11^u47^m38^s,5$
tijdm. voor op middelb. tijd Nieuwediep = $1^u36^m57^s,0$ = $1^u36^m57^s,0$
Middelb. tijd Nieuwediep = $10^u\ 4^m55^s,5$ . . . . = $10^u10^m41^s,5$.

10 April gemiddelde tijd Nieuwediep = $22^u\ 7^m48^s,5$
O.L. in tijd = $0^u19^m\ 6^s,4$
10 April gemiddelde tijd Greenwich = $21^u48^m42^s$
11 „ „ „ „ = $-\ 2^u,19$.

11 April te 0^u Greenwich ⊙ declin. = $8°31'4'',1$ N. . . . . tijdvereff. = $0^m57^s,50$
$-\ 2,19 \times 55'',24$ = $2'1''$ $-\ 2,19 \times -\ 0^s,677$ = $1^s,5$
d = verb. ⊙ declin. = $8°29'3''$ N. Verb. tijdvereff. = 0^m59^s.

Middelb. tijd Nieuwediep = $10^u\ 4^m55^s,5$ . . . . . = $10^u10^m41^s,5$
tijdvereff. = $59^s,0$ = $59^s,0$
Ware tijd Nieuwediep = $10^u\ 3^m56^s,5$ = $10^u\ 9^m42^s,5$
Ware uurhoek ⊙ = $1^u56^m\ 3^s,5 = P$ . . = $1^u50^m17^s,5 = P$.

$P = 1^u56^m3^s,5$ cos = 9,941757
$d = 8°29'3''$ cotg = 0,826323 sin = 9,168898
taug φ = 0,768080
$\varphi = 80°19'11''$ sec = 0,774303
$b = 52°57'30''$
$b + \varphi = 133°16'41''$ sin = 9,862152
sin hoogte = 9,805353
Ware hoogte = $39°42'4''$.

$P' = 1^u 50^m 17^s,5$ cos = 9,947641
$d' = 8°29'\ 3''$ cotg = 0,826323 sin = 9,168898
tang φ' = 0,773964
φ' = 80°26'52" sec = 0,780030
b = 52°57'30"
$b + \varphi'$ = 133°24'22" sin = 9,861237
sin hoogte = 9,810165
Ware hoogte = 40°13'59".

Gemeten dubbele hoogte = 79°59'10"
index-correctie = + 2",5
Verbeterde dubbele hoogte = 79°59'12",5
„ enkele „ = 39°59'36",2
gemeten ½ midd. = 16' 1",3
Schijnbare middelpuntshoogte = 40°15'37",5 voor de 2de waarn.
„ „ = 39°43'34",9 „ „ 1ste „

Schijnbare middelpuntshoogte =	39°43'34",9	40°15'37",5
refr. — parall. =	1' 2",5	1' 1",1
Waargenomen ware hoogte =	39°42'32",4	40°14'36",4
berekende „ „ =	39°42' 4",0	40°13'59",0
Halve fout van den sextant =	0'28",4	0'37",4
gemiddelde fout bij 80° =	1' 5",8.	

Berekent men op dezelfde wijze, door elke waarneming in het bijzonder, de fout van den sextant, dan vindt men:

uit het 1ste stel waarnemingen	— 0'28",4 — 0 37 ,4	. . . — 1' 5",8
„ „ 2de „ „	— 0 30 ,1 — 0 22 ,2	. . . . — 0 52 ,3
„ „ 3de „ „	— 0 34 ,8 — 0 32 ,1	. . . . — 1 6 ,9
„ „ 4de „ „	— 0 29 ,9 — 0 17 ,1	. . . . — 0 47 ,0
„ „ 5de „ „	— 0 20 ,2 — 0 36 ,1	. . . . — 0 56 ,3
„ „ 6de „ „	— 0 31 ,1 — 0 32 ,4	. . . . — 1 3 ,5
	Gemiddelde fout voor 85° =	— 0'58",6.

Het gemelde onderzoek moeten wij aan ieder, die daartoe in de gelegenheid is, ten zeerste aanbevelen. Behalve toch dat men daardoor zekere vaardigheid verkrijgt in het waarnemen van hoogten met behulp van den artificiëelen horizon, zal men ook, indien slechts de waarnemingen talrijk genoeg zijn, op deze wijze tot een vrij nauwkeurige kennis van het bedrag der fouten van het werktuig, dat men bezit, kunnen geraken. Men getrooste zich echter de moeite om elke waarneming afzonderlijk uit te cijferen, zoowel ter voorkoming van het insluipen van rekenfouten in het resultaat, als ter beoordeling van de

juistheid der waarneming, waarvan de meerdere of mindere overeenkomst tusschen de beide resultaten uit elk stel waarnemingen tot maatstaf kan dienen. Vergelijkt men eindelijk de uitkomsten voor denzelfden hoek, die men op verschillende dagen heeft verkregen, met elkander, dan zal men het gemiddelde mogen nemen uit die resultaten, welke blijken dragen van vertrouwen te verdienen.

Vallen de hoogten zoo dicht bij den meridiaan, dat Tafel XXVI gebruikt kan worden, dan herleide men de hoogten tot meridiaanshoogte en vergelijke die bij de schijnbare meridiaanshoogte, welke met behulp van de bekende Breedte en de middagsdeclinatie berekend kan worden. Het verschil tusschen de berekende schijnbare meridiaanshoogte en de herleide meridiaanshoogte zal de halve fout van de aflezing van den sextant aanwijzen.

Voor de toepassing van de laatste manier, kan men ook de hoogten meten van heldere sterren in de nabijheid van den meridiaan, welke waarneming zeer goed met behulp van den artificiëelen horizon kan geschieden, als de kijker van den sextant goed is. Kan men daarbij den sextant op deze of gene wijze ondersteunen, door het handvatsel b. v. vast te schroeven aan een horizontalen arm, die door een drievoetje gedragen, met eenige wrijving in een veerenden beugel kan draaien, dan zal de waarneming spoedig en gemakkelijk geschieden, dewijl de nonius kan afgelezen worden, indien men het voetje b. v. op een tafel zet, zonder dat het werktuig uit zijn stand behoeft gebracht te worden, en men dus geen tijd behoeft, om de beelden der sterren weder in het veld van den kijker te brengen. Voor de azimuthale verplaatsing, die de ster ondergaat, behoort het bedoelde voetje zoo ingericht te zijn, dat de sextant ook om een vertikale as kan draaien.

Bij deze waarneming moet zorg gedragen worden, dat de aanraking of de bedekking der beelden op de juiste plaats in het veld van den kijker geschiedt, waartoe het noodig is, dat de draden in den kijker zichtbaar zijn. Is het licht, dat door de kwikoppervlakte van den horizon wordt teruggekaatst, daartoe niet voldoende, dan legge men naast den kwikbak een vel wit papier zoodanig, dat het licht van een lamp, daarop teruggekaatst, in den kijker valt en zoo doende de draden verlicht.

Is de Breedte der waarnemingsplaats niet nauwkeurig bekend, dan kan men, langs dien weg, toch de fouten van den sextant en bovendien de Breedte bepalen. Men behoeft daartoe slechts paarsgewijze sterren te kiezen, waarvan de eene benoorden en de andere bezuiden het toppunt nagenoeg een gelijke hoogte in den meridiaan bereikt. Een verschil in hoogte van 5° of 10° zal geen bezwaar zijn. Noemen wij de Breedte der plaats, die wij Noordelijk stellen, b, de meridiaanshoogte van de Zuidelijke ster h, die van de Noordelijke h', de Noordelijke declinatiën dier sterren d en d', dan is:

door de Zuidelijke ster $b = 90^\circ - h + d$
„ „ Noordelijke „ $b = h' \pm (90^\circ - d')$
Gemiddeld $b = \frac{1}{2}(h' - h) + \frac{1}{2}(d - d') + 90^\circ$
$b = \frac{1}{2}(h' - h) + \frac{1}{2}(d + d')$

naar gelang de doorgang van de Noordelijke ster onder of boven de pool heeft plaats gehad. In beide gevallen wordt voor de bepaling van b slechts gebruik gemaakt van het halve verschil der hoogten. Is dat halve verschil volgens de vooronderstelling klein, dan mag men aannemen, dat daarin geen merkbare fout van het werktuig aanwezig zal zijn, zoodat de Breedte onafhankelijk van de fouten, die het werktuig overigens kan bezitten, gevonden zal wezen.

Op Zuider Breedte is de gang der redeneering dezelfde; men lette slechts op de teekens, ook wat de declinatiën aangaat. Nog behoort men daarop acht te geven, dat de declinatiën voor praecessie, aberratie en nutatie moeten verbeterd zijn, hetgeen het geval is bij de sterren, die in den Nautical Almanac van 10 tot 10 dagen staan opgegeven. Bezigt men opgaven, die op een vroeger tijdstip betrekking hebben, dan moeten de genoemde verbeteringen daarop worden toegepast, waartoe de noodige voorschriften in de werken over de eigenlijke sterrekunde gevonden worden.

Bevindt men zich op Noorder Breedte, dan kan voor de eene ster de poolster gebezigd worden, mits men de Zuidelijke ster zoodanig kieze, dat deze een hoogte in den meridiaan bereikt, welke ongeveer met die van de poolster overeenkomt. Onder die voorwaarde kan daartoe ook de zon gebezigd worden.

De fouten van den sextant kunnen ten slotte nog bepaald worden, door hoeken te meten tusschen heldere vaste sterren, en vervolgens deze hoeken te vergelijken met de afstanden tusschen die hemellichten, welke men door berekening gevonden heeft. Voor de berekening van den afstand tusschen twee sterren, heeft men in den bolvormigen driehoek, waarvan de pool en de beide sterren de hoekpunten zijn, drie grootheden bekend, namelijk: de poolsafstanden der beide sterren en de hoek aan de pool, die blijkbaar gelijk is aan het verschil der rechte-opklimmingen dier sterren. Met behulp van die grootheden, welke voor de voorname sterren in den Nautical Almanac staan opgegeven, kan de zijde over den bekenden hoek, of de afstand der sterren gemakkelijk berekend worden.

Eenigszins meer ingewikkeld is de herleiding, die men den gemeten afstand moet laten ondergaan, alvorens deze met den berekenden kan worden vergeleken. De refractie of de straalbuiging toch brengt bij de sterren een schijnbare plaatsverandering te weeg, en men zal bij gevolg den gemeten afstand voor den invloed der refractie hebben te verbeteren, waartoe de kennis van de schijnbare hoogten der waargenomen

sterren vereischt wordt. De altijd min of meer omslachtige berekeningen, die voor de laatstbedoelde herleiding volbracht moeten worden, in verband met de immer zeer moeilijke waarneming van den afstand, indien de sextant niet op een voet is bevestigd, maken de toepassing van deze methode nog al bezwarend, en wij zouden haar alleen voorstellen voor het onderzoek van die hoeken, welke men volgens de voorgaande manier, om de een of andere reden, niet heeft kunnen beoordeelen.

De formules, die men voor de berekeningen naar deze manier noodig heeft, worden gemakkelijk afgeleid uit die, welke in het V^de^ Hoofdstuk van het II^de^ Deel voor de herleiding van de maansafstanden worden aangetroffen. Eenige vereenvoudiging zal daarin nog kunnen worden gebracht, dewijl bij de vaste sterren parallaxis niet in aanmerking komt.

II. REFLEXIE-WERKTUIGEN VAN PISTOR EN MARTINS.

a. ALGEMEENE BESCHOUWINGEN.

De reflexie-werktuigen van PISTOR en MARTINS onderscheiden zich van de gewone reflexie-werktuigen hoofdzakelijk door het gemis van den half verfoelieden kimspiegel, waarvoor in de plaats is gesteld een prisma van flintglas, welk prisma een gelijkbeenigen, rechthoekigen driehoek tot bazis heeft.

Alvorens tot de beschrijving van deze werktuigen over te gaan, moeten wij ons eenige eigenschappen herinneren van den loop der lichtstralen in glazen prisma's.

Is $ABHI$, fig. 129, een stuk glas, begrensd door een gepolijste vlakte AB, dan zal een lichtstraal EC, die in eenig punt C op AB valt, gedeeltelijk gebroken en gedeeltelijk teruggekaatst worden. Stelt DF de normaal in het punt C op AB voor, en is k de brekings-coëfficient der glassoort, dan hebben wij:

$$\sin DCG = k \sin ECF.$$

Dewijl sin DCG niet grooter dan de eenheid kan zijn, zoo zal de straal CG niet buiten het glas treden, zoodra k sin $ECF > 1$ of sin $ECF > \frac{1}{k}$ is, en zal de straal EC een totale reflexie op het vlak AB ondergaan. Op dezen grondslag berust het gebruik van prisma's bij reflexie-instrumenten als spiegels.

Zij ABC, fig. 130, een driehoekig, in B rechthoekig glazen prisma. Een lichtstraal ED, die in het punt D het zijvlak AB treft, wordt volgens DR gebroken en ontmoet het hypotenusa-vlak AC in het punt

R. Is dan sin $DRO > \frac{1}{k}$, dan zal die lichtstraal in het punt R niet door het hypotenusa-vlak AC gaan, maar totaal teruggekaatst worden volgens RG, en in G bij zijne uittrede uit het glas volgens GH andermaal worden gebroken. Denken wij ons het oog in H geplaatst, dan zal men het punt E in de richting van HG zien.

Ten einde den loop van den lichtstraal HG in verband met zijne oorspronkelijke richting ED na te gaan, verlengen wij beide stralen, tot zij het vlak AC in de punten S en Z ontmoeten. Stellen wij ter bekorting hoek $EZA = \alpha$, hoek $DRA = \beta$, hoek $ARG = \varphi'$ en hoek $ASH = \varphi$, dan is

$$\text{hoek } ADE = \alpha + A \text{ en hoek } RDB = \beta + A$$

en dus

$$\cos(\alpha + A) = k \cos(\beta + A).$$

Voorts is

$$\cos CGH = k \cos RGB$$

of

$$\cos BGH = k \cos RGC$$

en dewijl

$$\begin{aligned} \text{hoek } BGH &= \text{hoek } SGC = 180^\circ - C - (180^\circ - \varphi) = \varphi - C \\ \text{hoek } RGC &= \text{hoek } ARG - C \\ &= 180^\circ - \text{hoek } CRG - C = 180^\circ - ARD - C \\ &= 180^\circ - \beta - C = 180 - (\beta + C) \end{aligned}$$

is, zoo komt na substitutie:

$$\cos(\varphi - C) = k \cos(180^\circ - (\beta + C)) = -k \cos(\beta + C)$$

terwijl wij vroeger vonden:

$$\cos(\alpha + A) = k \cos(\beta + A).$$

Nemen wij aan, dat het prisma een gelijkbeenigen driehoek tot bazis heeft, dan wordt hoek $A = C$, en de gevonden formules zullen overgaan in deze:

$$\begin{aligned} \cos(\varphi - A) &= -k \cos(\beta + A) \\ \cos(\alpha + A) &= k \cos(\beta + A) \end{aligned}$$

waaruit

$$\begin{aligned} -\cos(\varphi - A) &= \cos(\alpha + A) \\ \varphi - A &= 180^\circ - \alpha - A \\ \varphi &= 180^\circ - \alpha. \end{aligned}$$

Men ontwaart dus, dat bij een rechthoekig en gelijkbeenig prisma, de richting van den straal, die na een terugkaatsing op het hypotenusavlak te hebben ondergaan, het oog treft, denzelfden hoek met dat vlak

maakt, als de oorspronkelijke richting van den invallenden straal, onverschillig hoe groot k moge wezen. De terugkaatsing op het vlak AC heeft plaats, nadat de straal in het punt D is gebroken. In het prisma heeft dus kleurschifting plaats, doch de uittredende straal is, door $A = C$ te stellen, weder wit licht, dewijl φ in dat geval onafhankelijk is van k. Bij een kleine ongelijkheid van de hoeken A en C, zal echter de daaruit ontstane kleurschifting onmerkbaar zijn.

Onderzoeken wij thans voor welke waarden van α de hoek φ bestaanbaar is, d. i. in welke gevallen het prisma als spiegel gebruikt kan worden.

Al dadelijk zal men opmerken, dat een lichtstraal $E'D$, fig. 130, zoodanig in het punt D moet worden gebroken, dat de gebroken straal DR' het vlak AC treft, zal er op dat vlak terugkaatsing plaats hebben, en bij gevolg moet hoek $BDR' > 45°$ zijn, in de vooronderstelling dat het prisma gelijkbeenig is. Wij hebben dus, dewijl

$$\cos ADE' = k \cos BDR'$$

is,

$$\cos ADE' < k \cos 45$$

of

$$k > \cos ADE' . \sqrt{2}$$

en dus

$$\cos ADE' < \frac{k}{\sqrt{2}}.$$

Is nu voor flintglas $k = 1{,}664$, dan zal die voorwaarde vervuld worden voor alle waarden van hoek ADE', van 0° tot 90°, en men bespeurt, dat er lichtstralen zullen zijn, zie fig. 131, ofschoon zij van achter het spiegelend vlak AC komen, die nogtans op dat vlak worden teruggekaatst. De uiterste grens, waaronder breking in het prisma en vervolgens terugkaatsing op AC plaats heeft, zal zijn als hoek ADE', fig. 130, nul is, d. i. als de lichtstraal evenwijdig loopt aan het vlak AB. Blijkbaar is in dat geval $\alpha = -45°$.

Ten einde de andere grens van α te bepalen, waaronder nog terugkaatsing op AC plaats heeft, merken wij op, dat zij bepaald wordt door de voorwaarde, dat in fig. 130

$$k \cos ARD = k \cos \beta < 1$$

zij. Vonden wij vroeger

$$\cos (\alpha + A) = \cos (\beta + A),$$

dan wordt, als wij $A = 45°$ stellen,

$$\cos (\alpha + 45^0) = \cos (\beta + 45^0)$$

dus

$$\cos^2 (\alpha + 45^0) = \text{css}^2 (\beta + 45^0)$$

of

$$\tfrac{1}{2} (1 - \sin 2 \alpha) = \tfrac{1}{2} (1 - \sin 2 \beta)$$

waaruit

$$\begin{aligned} \sin 2 \alpha &= 1 - k^2 + k^2 \sin 2 \beta \\ &= 1 - k^2 + 2 k^2 \sin \beta \cos \beta. \end{aligned}$$

Stellen wij dan

$$k \cos \beta = 1$$

dan is

$$\cos \beta = \frac{1}{k}; \ \sin \beta = \sqrt{\left\{1 - \frac{1}{k^2}\right\}} = \frac{1}{k} \sqrt{\left\{k^2 - 1\right\}}$$

en dus

$$\sin 2 \alpha = 1 - k^2 + 2 \sqrt{(k^2 - 1)}.$$

Berekent men, volgens deze formule, de waarde van α, als $k = 1{,}664$ is, dan vindt men:

$$\alpha = 58^0 26'$$

terwijl wij voor de andere grens hadden:

$$\alpha = - 45^0.$$

De gunstigste omstandigheid voor de terugkaatsing op AC heeft plaats, als $\alpha = 45^\circ$ is, fig. 132. De lichtstralen P vallen, zonder een breking te hebben ondergaan, op AC, en treden loodrecht op BC uit.

Is α grooter dan 45°, fig. 133, doch kleiner dan de grenshoek, dan vallen de teruggekaatste stralen verder van het punt C en de doorsnede van den teruggekaatsten lichtbundel zal kleiner zijn dan die van den invallenden. Wordt α grooter dan de grenshoek, dan houdt de totale reflexie op het hypotenusa-vlak op, en wij verkrijgen een terugkaatsing, als door het voorvlak van een platten glazen spiegel.

Loopt de invallende lichtbundel evenwijdig aan het vlak AC, fig. 134, dan zal hij toch daarop worden teruggekaatst. Dewijl in dat geval $\alpha = 0$ en mitsdien $\varphi = 180^\circ$ is, zoo zal de teruggekaatste bundel, na uit het prisma te zijn getreden, zijne oorspronkelijke richting vervolgen, als of het prisma niet bestaan had. Een beeld pq zal echter door het prisma worden omgekeerd.

Heeft α een negatieve waarde, dan wordt, blijkens fig. 131, slechts een klein gedeelte van den bundel invallende stralen, namelijk de hoeveelheid a teruggekaatst. Bij de grootste negatieve waarde van α zal men slechts een streep als beeld verkrijgen.

Bij glazen prisma's doet zich nog de bijzonderheid voor, dat de hoeken van inval en van terugkaatsing op de spiegelende oppervlakte veel minder veranderen, dan de daarmede overeenkomstige hoeken, die de oorspronkelijke lichtstraal met het spiegelende vlak maakt. Zoo is voor flintglas:

bij	$\alpha = 0^0$	$\beta = 19^0 51'$
„	$\alpha = 30^0$	$\beta = 36^0\ 3'$
„	$\alpha = 45^0$	$\beta = 45^0$
„	$\alpha = 50^0$	$\beta = 48^0$.

Bij een metalen spiegel, is α altijd gelijk β, en dewijl bij de prisma's die hoek β weinig verandert, en de hoeken der stralen met de brekende vlakken niet klein worden, als α aan de negatieve zijde niet te groot wordt, zoo zal de juistheid van het beeld bij een prisma veel minder van α afhangen, dan bij gewone spiegels het geval is.

b. DE PATENT-CIRKEL.

Dit werktuig, in fig. 135 afgebeeld, bestaat uit een verdeelden cirkel *ABC*, waarvan de stralen *aa*, door een dunne plaat *bb*, aan den onderkant gesteund worden. De alhidade *NN'*, voorzien van twee tegenover elkander staande noniën, is beweegbaar om een as, die loodrecht staat op het vlak *ABC* en door het middelpunt van de verdeeling gaat. De alhidade wordt aan den rand geklemd met behulp van de schroef *K*, terwijl daarna met behulp van de stelschroef *S* kleine bewegingen aan de alhidade kunnen medegedeeld worden. De schroef *K* klemt namelijk een afzonderlijk blokje tegen den rand, op welk blokje zich een vierkant nokje bevindt, dat in de figuur voor de duidelijkheid is wit gelaten. Tegen het nokje rust aan de eene zijde de schroef *S* en aan de andere de kop van een stiftje *c*, dat met eenige speling door het uiteinde van de alhidade heengaat. Een spiraalveer *e*, die om de genoemde stift is gewonden, tracht het uiteinde van de alhidade van het nokje te verwijderen, doch wordt daarin verhinderd door de schroef *S*. Draait men echter de schroef *S* in de eene of andere richting, dan zal de alhidade zich een weinig kunnen verplaatsen. Een spiegel *E*, even als bij de sextanten, loodrecht op de alhidade bevestigd, keert zijne spiegelende oppervlakte naar het gelijkbeenig, drie- en rechthoekig prisma *F*. In den kijkerbeugel *G* wordt de kijker geschroefd, waarvan het objectief ongeveer ter helft door het prisma gedekt wordt. Even als bij de gewone sextanten, kan de beugel *G* hooger of lager geschroefd worden, ten einde de bedekte helft van het objectief des kijkers, ten opzichte van de onbedekte helft, te kunnen verkleinen of vergrooten. De as van den kijker blijft onder die beweging evenwijdig aan het vlak *ABC*. In *H* bevinden zich gekleurde glazen. Tot de aflezing van de verdeeling dient de loep *L*. Zij heeft aan den onderkant, ter verlichting van de verdeeling, het

matte glaasje *m*, en wordt gedragen door den gebogen arm *n*, die in het punt *o* met een tweeden arm *p* is verbonden en om dat punt kan draaien. De arm *p* is met een opstaande stift bevestigd aan den straal *a* van het geraamte, zoodat de verplaatsing van de loep geen trilling aan de alhidade kan geven. *PP* is het handvatsel, waarmede het werktuig onder de meting wordt vastgehouden. Tevens wordt bij deze instrumenten een lampje verstrekt, dat door reflexie den rand verlichten kan en daartoe kan geplaatst worden op de opstaande stift, boven het midden van den grooten spiegel. Wij zullen eerst de voornaamste samenstellende deelen van dit werktuig meer van nabij beschouwen en vervolgens het gebruik van het werktuig tot hoekmeting verklaren.

1°. De spiegel.

De spiegel van den patent-cirkel is op dezelfde manier aan de alhidade bevestigd, als die van de gewone sextanten. De beschouwingen aangaande de rectificatie, den onjuisten stand en de onzuivere bewerking van dit deel, vroeger in het midden gebracht, zijn ook op den spiegel der patent-cirkels van toepassing.

Een gewichtige opmerking, die wij nog te maken hebben, is deze: dat bij de patent-cirkels de gunstigste stand van den spiegel plaats heeft, als de te meten hoeken groot zijn, en de ongunstigste stand daarentegen, als de alhidade op het nulpunt der verdeeling staat, zooals wij hierna zullen aantoonen. Bij de gewone sextanten heeft juist het omgekeerde plaats, en men kan zich dus bij de bepaling der index-correctie voor den cirkel, van de deugd van den spiegel dadelijk overtuigen, door acht te geven op de meerdere of mindere scherpte van het dubbel gereflecteerde beeld. Ook de meerdere breedte, die de spiegel bij de patent-werktuigen kan verkrijgen, begunstigt de helderheid van het beeld, en bij groote hoeken zal dus bij de patent-cirkels het beeld scherper zijn, dan bij gewone sextanten.

2°. Het prisma.

Het prisma, dat bij den patent-cirkel den kimspiegel vervangt, is een recht- en driehoekig, gelijkbeenig, glazen prisma, waarvan de zijvlakken zuiver platte rechthoeken zijn en dus geen pyramide mogen vormen. De scherpe hoeken van het prisma behoeven niet **volkomen** aan elkander gelijk te zijn, omdat de invloed, die uit de bedoelde ongelijkheid zou voortvloeien, voor al de te meten hoeken, en dus ook voor de index-correctie, dezelfde blijft. Bij de toepassing van de index-correctie wordt mitsdien de fout, zoo die mocht bestaan, geëlimineerd.

Dewijl de reflexie der lichtstralen, bij het meten van hoeken, plaats moet hebben in een vlak, evenwijdig aan dat van den cirkel, zoo moet noodwendig het hypotenusa-vlak van het prisma loodrecht op het ge-

noemde vlak kunnen gesteld worden. Hiertoe rust het driehoekig grondvlak op drie uitstekende puntjes van een horizontaal plaatje, welk plaatje met een stoel verbonden is, die in het geraamte van den cirkel wordt vast geschroefd. De verbinding van den stoel met het genoemde plaatje geschiedt met behulp van twee vertikale schroefjes, die diametraal tegenover elkander in een vlak staan, dat wij ons loodrecht op het vlak van den cirkel, door den rechten hoek en het hypotenusa-vlak van het prisma kunnen denken, terwijl het plaatje verder op twee uitstekende puntjes van den stoel rust, die met de genoemde schroefjes de vier eenige punten van aanraking tusschen den stoel en het plaatje zijn. Door een van de schroefjes wat losser en het andere te gelijker tijd wat vaster aan te draaien, kan men aan het plaatje, en dus ook aan het hypotenusavlak van het prisma, den behoorlijken stand geven.

De middelen, die wij hebben aangewezen, om den loodrechten stand van den kimspiegel bij de gewone sextanten te herkennen, gelden ook voor het onderzoek, aangaande den loodrechten stand van het meergenoemde hypotenusavlak.

Een andere voorwaarde voor den behoorlijken stand van het prisma is, dat het hypotenusavlak nagenoeg evenwijdig moet zijn aan den spiegel, als de alhidade op nul wijst. Ofschoon de juiste richting van het genoemde vlak, ten opzichte van den spiegel, evenals bij de gewone sextanten, door de bepaling der index-correctie wordt verkregen, zoo kan het nogtans voorkomen, b. v. als het prisma om de eene of andere reden is afgenomen, en daarna weder moet worden opgesteld, dat men het den bedoelden stand moet weten te geven. Hiertoe stelt men de alhidade op nul, richt den kijker, b. v. bij horizontalen stand van den cirkel op een ver verwijderd voorwerp, en draait den stoel, waarop het prisma rust zoolang, tot dat de beide beelden van het voorwerp elkander dekken. In dezen stand bevestigt men vervolgens den stoel met de daartoe voorhanden zijnde schroefjes.

Ten einde de bedoelde rectificatie te kunnen doen, is het benedeneinde van den stoel, dat in het geraamte van den cirkel past, cilindrisch bewerkt, en rust de stoel verder met een borst op den bovenkant van het geraamte, terwijl hij aan den onderkant met een schroef is opgesloten. De bovenkant van den stoel heeft een rechthoekig omgebogen, zware nok, waarin een ruime gleuf is, zoodat die nok, als de stoel op zijne plaats is, met eenige speling over den straal van het geraamte heen komt. Twee horizontale, in tegengestelde richting geplaatste schroefjes klemmen de nok aan den genoemden straal. Door de eene schroef wat uit, en de andere te gelijkertijd wat in te draaien, zal men den stoel om zijne cilindrische as kunnen verzetten en zoodoende het prisma nauwkeurig kunnen stellen.

De wijze, waarop het prisma op het meergenoemde plaatje bevestigd

is, valt bij de beschouwing van het werktuig dadelijk in het oog. Het hypotenusavlak rust tegen drie uitstekende puntjes van den opstaanden rand van het plaatje. De rechte hoek van het prisma is gevat in een huisje, dat op het plaatje met twee schroefjes is bevestigd, terwijl een schroefje, door het bovenvlak van het huisje heen, het prisma bevestigd houdt.

3°. De kijker.

De kijker van den patent-cirkel heeft dezelfde inrichting als die van den gewonen sextant. Hij heeft twee vergrootingen, de eene van vijf, de andere van twaalf malen.

Het vroeger opgemerkte, omtrent de rectificatie van den kijker van den sextant, en den invloed, dien de helling des kijkers op de meting uitoefent, is ook op den kijker van den patent-cirkel van toepassing.

4°. De limbus en de nonius.

De limbus van den patent-cirkel is verdeeld van 10 tot 10 minuten, die, evenals bij de gewone sextanten, slechts 5 minuten in de werkelijkheid voorstellen. Op de beide uiteinden van de alhidade bevindt zich veelal ter wederzijde van het nulpunt een nonius, met behulp waarvan men van 10 tot 10 secunden kan aflezen. De eene nonius wordt van het nulpunt naar de rechterzijde, de andere naar de linkerzijde geteld, dewijl de $(p - 1)$ deelen rechts, de $(p + 1)$ deelen links van het nulpunt gegraveerd zijn, zie bladz. 385. Door bij elke meting het midden te nemen uit de vier aflezingen, die men alzoo van den rand kan verkrijgen, wordt de invloed van de mogelijke verdeelingsfouten zeer verminderd. (1)

De tegenover elkander geplaatste noniën geven aan de cirkels het groote voordeel, dat men de fout, die bij een enkele aflezing, zooals bij den sextant het geval is, uit de excentriciteit van het werktuig ontstaat, elimineert door het midden der aflezingen te nemen. Is namelijk AC, fig. 136, de excentrische alhidade en O' het nulpunt, dan zal men aflezen $O'A$ en OC, terwijl de ware aflezing is $O'B = OE$, als wij BE evenwijdig aan AC, door het middelpunt trekken. Wij hebben echter:

$$\begin{array}{l} O'B = O'A + AB \\ OE = OC - EC \\ \hline O'B = \tfrac{1}{2}(O'A + OC) \end{array}$$

dewijl $O'B = OE$ en $AB = EC$ is.

Hierbij wordt verondersteld, dat de nulpunten der alhidade juist

---

(1) Bij de nieuwe prisma-cirkels van de firma WEGENER wordt de verdeeling van den nonius rechts weder weggelaten, zoodat men niet vier, maar twee aflezingen verkrijgt.

180° van elkander liggen. Is dat niet het geval, dan zal b. v. de excentrische alhidade den vorm AGD' hebben, fig. 137, en dewijl

$$O'B = O'A + AB$$
$$OE = OD' - ED' = OD' - AB - DD'$$

is, zoo verkrijgen wij voor de ware aflezing:

$$O'B = \tfrac{1}{2}(O'A + OD') - \tfrac{1}{2}DD'$$

en wij zullen dus $\frac{1}{2}DD'$ hebben te bepalen. Denken wij ons daartoe de excentrische alhidade $O'GD'$, fig. 138, zoodanig gericht, dat het nulpunt van den rand juist overeenkomt met het nulpunt van den nonius, waaraan de klemschroef is bevestigd, dan zal de aflezing van het andere nulpunt der alhidade zijn:

$$O'D' = O'O + OD' = 180^\circ + DD' - OD.$$

Nemen wij de alhidade juist in een omgekeerde richting, d. i. leggen wij thans het nulpunt D' op O', dan zal de nonius, waaraan de klemschroef bevestigd is, ergens in C komen, terwijl wij in dit geval voor de aflezing bekomen:

$$O'C = O'O - CO = 180^\circ - (CD + OD).$$

Trekken wij deze vergelijking van de vorige af, dan komt:

$$O'D' - O'C = DD' + CD$$

of, als wij $DD' = CD$ stellen, hetgeen wegens het geringe bedrag van de fout, wanneer die mocht bestaan, veroorloofd is:

$$\tfrac{1}{2}(O'D' - O'C) = \tfrac{1}{2}DD'.$$

Het is duidelijk, dat men tot die bepaling den nonius niet op het nulpunt van de verdeeling behoeft te zetten, maar dat men elk willekeurig punt daartoe kan bezigen, mits men na het omleggen van de alhidade den anderen nonius slechts op hetzelfde punt stelt, opdat de excentriciteitsfout OD in beide standen dezelfde zij.

Dewijl elke dubbele nonius 20° omvat, zoo kan men door het afpassen van dien boog langs den rand, de regelmatigheid der verdeeling van de cirkels op een meer nauwkeurige wijze onderzoeken, dan die der gewone sextanten, en zal men zelfs in zekere mate de fouten van de eerstgenoemde verdeeling kunnen bepalen. Ziehier hoe men daarbij te werk gaat. Man brengt het uiterste rechtsche streepje van den nonius, dat met 10 gemerkt is, juist in overeenstemming met het nulpunt van den rand. Heeft nu de dubbele nonius zijne juiste grootte en is de verhouding tusschen de nonius- en de randdeelen goed genomen, dan zal het linksche streepje, dat met 10 is gemerkt, juist overeenkomen met 20° op den rand. Stellen wij echter, dat dit niet het geval is, maar dat het streepje 10, op het oog af, 4″ meer links staat, dan kan zulks

worden veroorzaakt doordien de nonius te groot, of de ruimte op den rand van 0° tot 20° te klein is; of wel, de fout kan in beide liggen. Nemen wij aan, dat het laatste het geval is, en dat de standvastige fout van den nonius x'' bedraagt, dan hebben wij:

$$\text{ruimte op den rand van } 0^\circ \text{ tot } 20^\circ = \text{ruimte nonius} - 4''$$
$$= 20^\circ + x'' - 4''.$$

Verschuiven wij thans de alhidade, tot dat de rechtsche streep van den nonius, die met 10 gemerkt is, met de 20° van den rand overeenstemt, dan zullen wij bij de 40° op overeenkomstige wijze kunnen onderzoeken, of aldaar de vereischte overeenstemming bestaat. Zij op dat punt de rand 5″ kleiner dan de nonius, dan is

$$\text{ruimte op den rand van } 20^\circ \text{ tot } 40^\circ = 20^\circ + x'' - 5''.$$

Bepalen wij op dezelfde wijze de verschillen bij 60°, 80°, enz. tot 180°, en zijn deze + 10″, + 4″, — 6″, + 3″, — 5″, — 7 en + 1″, dan zullen wij hebben, in de vooronderstelling dat het nulpunt van den rand en de verdeeling 180° goed staan:

(a)	ruimte van	0°	tot	20°	=	20° + x''	— 4″
(b)	„ „	20	„	40	=	20 + x	— 5
(c)	„ „	40	„	60	=	20 + x	+ 10
	„ „	60	„	80	=	20 + x	+ 4″
	„ „	80	„	100	=	20 + x	— 6
	„ „	100	„	120	=	20 + x	+ 3
	„ „	120	„	140	=	20 + x	— 5
	„ „	140	„	160	=	20 + x	— 7
	„ „	160	„	180	=	20 + x	+ 1.

Tellen wij deze vergelijkingen bij elkander, dan komt:

$$\text{ruimte van } 0^\circ \text{ tot } 180^\circ = 180^\circ + 9\,x'' - 9''$$

waaruit

$$x = + 1''$$

welke hoeveelheid de nonius te groot is. Substitueeren wij deze waarde van x in de vergelijkingen (a), (b), (c) enz., dan vinden wij:

$$\text{ruimte van } 0^\circ \text{ tot } 20^\circ = 20^\circ + 1'' - 4'' = 20^\circ - 3''$$
$$\text{„ „ } 0 \text{ „ } 40 = 40 + 2 - 9 = 40 - 7$$
$$\text{„ „ } 0 \text{ „ } 60 = 60 + 3 + 1 = 60 + 4$$

enz.

waaruit blijkt, dat de streep van den rand, gemerkt 20°, 3″ en die van 40°, 7″ te dicht bij het nulpunt staan, doch dat die van 60°, 4″ te ver daarvan verwijderd is. Heeft men op de voorschreven wijze de fouten van de bovengenoemde randverdeelingen bepaald, dan kan men vervolgens ook die van de tusschenverdeelingen opmaken. Wij zijn bij de gevolgde redeneering van de vooronderstelling uitgegaan, dat het nulpunt

en de verdeeling 180° van den rand goed stonden. Dit nu is, wat het nulpunt betreft, door de later in rekening te brengen index-correctie, uit den aard der zaak altijd het geval; doch de ligging der verdeeling 180° moet onderzocht worden, waartoe men kan te werk gaan, zooals op bladz. 441 wordt aangewezen.

Omtrent de buiging der alhidade valt op te merken, dat alleen die helft daarvan gebogen wordt, waarop de stelschroef werkt, terwijl de andere helft de verplaatsing van den spiegel volkomen zal volgen. Neemt men dus het gemiddelde van de aflezingen der vier noniën, en wil men dat voor de buiging verbeteren, dan moet op dat gemiddelde de halve buigingsfout worden toegepast. Raadzamer nogtans is het, de buigingsfout door het achtereenvolgens voor- en achteruit draaien der stelschroef, uit de gemiddelde aflezing te elimineeren.

5°. De gekleurde glazen.

De gekleurde glazen zijn zoodanig ingericht, dat zij 180° kunnen worden omgelegd, en zijn daartoe verbonden aan een stang, die door het geraamte van den cirkel heengaat. Heeft men eenige metingen verricht met de glazen in den eenen stand, dan schuift men de genoemde stang op, tot dat de glazen boven het prisma komen, draait de stang 180° om, brengt de glazen weder voor het prisma, en herhaalt de meting, waarbij men zorg draagt evenveel aflezingen te verkrijgen, als voor het omleggen der glazen. Het gemiddelde der gezamenlijke aflezingen zal dan bevrijd zijn van de fout, die uit de niet evenwijdigheid van de voor- en achtervlakken der glazen voortvloeit. Wegens de genoemde inrichting verdienen de patent-reflexie-werktuigen verre de voorkeur boven de gewone sextanten, ofschoon het aantal der gekleurde glazen wel wat gering is, en uit dien hoofde de lichtsterkte der beelden niet altijd naar behooren kan gewijzigd worden.

C. DE WAARNEMINGEN MET DEN CIRKEL.

1°. Het meten van hoeken.

Laat, in fig. 139, *de* de spiegel van den cirkel, *GH* het hypotenusavlak van het prisma en *K* den kijker zijn. Stellen wij dat de alhidade *a* op het nulpunt der verdeeling en het vlak *GH* evenwijdig aan den spiegel *de* gericht zij, dan zal een ver verwijderd voorwerp *P*, door stralen, die eerst op den spiegel en daarna in het prisma teruggekaatst worden, zich in de as des kijkers vertoonen. Te gelijkertijd echter zal men over het prisma heen, door de bovenste objectiefhelft van den kijker, het voorwerp *P* ook rechtstreeks waarnemen, en men verkrijgt alzoo,

even als bij de gewone sextanten, twee beelden van hetzelfde voorwerp, het eene rechtstreeks, het andere door dubbele terugkaatsing, die elkander zullen bedekken. Door den vasten stand van het prisma is de richting van de gereflecteerde stralen Km en mo standvastig, indien namelijk de bedekking der beelden in het midden van het veld of in de as des kijkers plaats heeft. Voor elk ander punt van het veld is de richting Km en mo een andere, en ook de hoeken bij m en o zullen veranderen, als mP en oP evenwijdig blijven.

Bevindt zich nu in Q, fig. 140, een ander voorwerp, dan zullen wij, door de alhidade a in de richting van den pijl te verschuiven, aan den spiegel den stand $d'e'$ kunnen geven zoodanig, dat de normaal oo' den hoek Qom middendoor deelt. Blijkbaar zal dan een lichtstraal Qo volgens om op het prisma en volgens mK in het oog geraken, en de waarnemer, die over het prisma heen het voorwerp P rechtstreeks ziet, zal de beelden der voorwerpen P en Q in elkander zien, indien namelijk het vlak van den cirkel gehouden wordt in het vlak, dat door de beide voorwerpen en het oog of de as des kijkers gedacht kan worden.

De hoek, dien de normaal des spiegels, bij de beweging der alhidade van den eenen tot den anderen stand, heeft doorloopen, is, even als bij de gewone sextanten, gelijk aan den halven hoek PoQ. Wij hebben namelijk:

$$\begin{aligned} \text{hoek } PoQ &= \text{hoek } Pom - \text{hoek } Qom \\ &= 2\,o''om - 2\,o'om \\ &= 2\,o''oo' \end{aligned}$$

en de boog, die bij gevolg door de alhidade is doorloopen en op de verdeeling wordt afgelezen, zal de maat zijn van den hoek PoQ, wanneer aan de halve graden, enz. de waarde van heele graden, enz. wordt toegekend.

Dewijl het uiterst zelden voorkomt, dat de spiegel en het hypotenusavlak van het prisma evenwijdig zijn, als de alhidade op nul staat, en ook dewijl het voorwerp P zoo dicht bij kan wezen, dat de genoemde deelen met elkander een hoek maken, als de beide beelden van P elkander dekken, zoo zal men immer bij de meting van den hoek tusschen twee voorwerpen, den stand der alhidade hebben af te lezen, als het rechtstreeks geziene beeld van het voorwerp, waarop bij de meting de kijker gericht wordt, met zijn dubbel gereflecteerd beeld tot dekking is gebracht. Even als bij de gewone sextanten, zal die aflezing met omgekeerd teeken de index-correctie zijn en het punt van de verdeeling bepalen, dat als aanvangspunt van telling, bij den te meten hoek, is aan te merken. Gelijk men zal opmerken, bestaat er tot dus verre hoegenaamd geen verschil tusschen de wijze, waarop bij de gewone sextanten de hoek tusschen twee voorwerpen gemeten wordt, en die bij de prisma-werktuigen, zoodat al hetgeen vroe-

ger daaromtrent is gezegd, ook bij deze werktuigen geheel van toepassing is.

Verschuiven wij de alhidade, tot dat de normaal *oo'* het prisma raakt, dan zal de alhidade ongeveer op 130° staan, en men zal de grens hebben bereikt der hoeken, die op de vermelde wijze kunnen gemeten worden.

Wordt de alhidade *a* vervolgens verschoven, tot dat de spiegel een rechten hoek maakt met den stand, dien hij innam, toen hij evenwijdig was aan het hypotenusavlak van het prisma, dan is bij die verplaatsing eerst het prisma en toen het hoofd van den waarnemer in den weg gekomen; doch er zullen, als de spiegel den bedoelden stand *de*, fig. 141, heeft bereikt, lichtstralen van een punt *R* afkomstig door den spiegel naar het prisma en in den kijker teruggekaatst worden, zoodat de beelden zullen samenvallen van twee voorwerpen *P* en *R*, die een hoek van 180° met elkander maken. Dewijl ook in dit geval het hoofd van den waarnemer nog in den weg is, schroeft men voor de oogbuis van den kijker een klein prisma *p*, dat daartoe opzettelijk bij den cirkel wordt verstrekt, en men ziet zijdelings uit *S* in den kijker.

Draait men de alhidade *a* nog verder om, dan kunnen hoeken van 180° tot 256° gemeten worden. Het voorwerp *S*, fig. 142, ligt dan ter linkerzijde van het voorwerp *P*, en zooals men lichtelijk zal inzien, zal de hoek *PoS*, thans van *P* naar de linkerzijde geteld en gelijk aan 360° — 256° = 104°, op tweeërlei wijze kunnen gemeten worden, namelijk door den kijker op *S*, of volgens de laatste manier op *P* te richten.

Schuift men de alhidade terug, dan kan men volgens de laatstbedoelde manier, terwijl de kijker op *P* gericht is, hoeken van 104° tot 180° meten, en dewijl volgens de gewone manier, met den kijker op het linksche voorwerp gericht, de hoeken, die men kan meten, zich niet verder uitstrekken dan tot 130°, zoo zal men bij het meten van hoeken, die tusschen 104° en 130° liggen, op tweeërlei wijze kunnen te werk gaan.

Bij de beschouwing van de figuren zal men ontwaren, dat de lichtstralen bij de bepaling der index-correctie onder vrij scherpe hoeken, van ongeveer 20°, den spiegel *de* treffen. De stralen van het voorwerp *Q* daarentegen treffen den spiegel onder een veel grooteren hoek, die zelfs bij 130° tot 85° aangroeit. Deze opmerking moge dienen tot staving van het vroeger beweerde, dat de spiegel den gunstigsten stand heeft voor de terugkaatsing, als de te meten hoeken groot zijn.

2°. Bepaling der kimduiking.

Zij *A*, fig. 143, het middelpunt van de aarde, en *H* het oog van een waarnemer op het aardoppervlak, dan zal het punt *E*, waarin de

lijn HC dat oppervlak aanraakt, in den gezichteinder des waarnemers liggen, als wij bij deze beschouwing den invloed van den dampkring op den loop van den lichtstraal, die hier door de lijn HC wordt voorgesteld, buiten rekening laten. Denkt men zich vervolgens de lijn HC om het punt H zoodanig bewogen, dat zij daarbij het aardoppervlak steeds aanraakt, dan kan men zich het oog voorstellen, als geplaatst in den top eens rechten kegels, waarvan de bazis een cirkel is, die de aanrakingspunten van de beschrijvende lijn met het aardoppervlak bevat en kim genoemd wordt.

Trekt men de lijn BD loodrecht op, HA dan kan die lijn, wegens de geringe hoogte van het oog, als de schijnbare horizon van H worden aangemerkt. Liggen de lijnen BD, CH, HA en HF in hetzelfde platte vlak, dan stelt hoek $BHC = DHF$ voor, hoeveel de kim onder den schijnbaren horizon duikt. De hoek $BHC = k$ draagt uit dien hoofde den naam van kimduiking.

De bepaling van het bedrag van dien hoek kan op de volgende wijze geschieden. Men schroeft voor het oogeinde des kijkers het vroeger genoemde tweede prisma zoodanig, dat men in den kijker kan zien in een richting, loodrecht op het vlak van den cirkel. Men houde het werktuig vertikaal, met de verdeelde randzijde naar den waarnemer gekeerd, richte den kijker op de kim en brenge, door het verschuiven der alhidade, het beeld van het tegenoverliggende gedeelte der kim met het rechtstreeks geziene beeld in aanraking. Dewijl het tot de zeldzaamheden zal behooren, dat de cirkel zuiver vertikaal staat, als de beelden der kim, die zich als rechte lijnen vertoonen, bij elkander zijn gebracht, zoo zal men meestal opmerken, dat de bedoelde beelden een hoek met elkander maken, die naar gelang van de helling van den cirkel verandert. Beweegt men echter den cirkel zoo lang, tot dat de beelden evenwijdig zijn, en brengt men die aldus op elkander, dan is men zeker, dat het werktuig vertikaal is. Bij deze waarneming kan het werktuig zoodanig gehouden worden, dat de kijker hooger en ook dat hij lager dan de spiegel staat. Verricht men de waarneming met den kijker zoowel in den eenen als in den anderen stand, dan geeft, blijkens de figuur,

$$\begin{aligned} \text{de eene aflezing} &= 180^0 + 2\,k \\ \text{,, andere ,,} &= 180^0 - 2\,k \\ \hline \text{Verschil der aflezingen} &= \quad 4\,k \end{aligned}$$

waaruit k gemakkelijk wordt opgelost. Deze manier heeft het voordeel, dat men de index-correctie niet behoeft te bepalen, hetgeen wel noodzakelijk is, indien de waarneming slechts met het werktuig in een der beide standen geschiedt, terwijl daardoor tevens de invloed geëlimineerd wordt, dien de soms onjuiste plaatsing van de verdeeling 180°

in het laatste geval op de bepaling van k zou uitoefenen. Is namelijk c de index-correctie en x de fout van de verdeeling 180°, dan geeft

$$\begin{array}{rl} \text{de eene aflezing} = & 180^0 \pm x \pm c + 2k \\ \text{„ andere „} = & 180^0 \pm x \pm c - 2k \\ \hline \text{Verschil} = & 4k \end{array}$$

waardoor c en x geëlimineerd zijn. Neemt men in plaats van het verschil, de halve som der aflezingen, dan vindt men:

$$\text{Halve som} = 180^0 \pm x \pm c$$

en men zal dus, als de index-correctie op de gewone wijze is bepaald, na hare toepassing de fout van de verdeeling 180° kunnen opmaken. In het 1ste hoofdstuk van het IIe Deel zullen wij, bij de nadere beschouwing der kimduiking, eenige resultaten omtrent de waarneming der kimduiking mededeelen.

De bijzonderheid, dat men met de prisma-werktuigen hoeken van 180° kan meten, verdient een nadere beschouwing. Al ligt toch zal men de opmerking maken, dat hierbij wordt uitgegaan van de veronderstelling, dat de as des kijkers evenwijdig loopt aan het vlak van den cirkel, dewijl in het tegengestelde geval, naar aanleiding van de formule, die den invloed van de helling des kijkers op de meting uitdrukt, de meting van hoeken nabij 180° iets ongerijmds heeft. Dat bezwaar vervalt echter geheel, bij de bepaling der kimduiking, dewijl de onjuiste stand van den kijker daarbij hoegenaamd geen invloed op de meting uitoefent. Laat, om dit aan te toonen, AB en CD, fig. 144, twee op elkander loodrechte spiegels en M een lichtend punt zijn, dan zullen de stralen, die van het punt M uitgaan, na op beide spiegels in de punten n en o te zijn terruggekaatst, zich verspreiden, alsof zij afkomstig waren van een punt M'', dat gevonden wordt door een loodlijn ME op de lijn van doorsnede der beide spiegels neêr te laten en daarop een afstand $EM'' = EM$ te nemen. Immers zullen die lichtstralen op den spiegel CD worden teruggekaatst, alsof zij kwamen van een punt M', dat op een afstand $GM' = GM$ achter den spiegel ligt, terwijl op overeenkomstige wijze de terugkaatsing op den spiegel AB plaats heeft, alsof de stralen afkomstig waren van een punt M'', dat wij verkrijgen door $M'M''$ loodrecht op het verlengde van AB te trekken en $M''F = M'F$ te nemen. Hierdoor wordt

$$MG = M'G = EF$$
$$EG = M'F = M''F$$

dus

$$\text{driehoek } EGM = \text{driehoek } M''FE$$

en

$$\text{hoek } MEG = 90^\circ - M''EF$$

alzoo

$$MEG + GEF + M''EF = 180^0$$

waaruit volgt, dat $M''EM$ een rechte lijn en $M''E = ME$ is.

Draait men beide spiegels om de lijn E, waaronder zij elkander snijden, terwijl zij steeds een rechten hoek met elkander vormen, dan zal het punt M' wel, maar het punt M'' niet van plaats veranderen.

Passen wij die opmerking toe op het geval van de bepaling der kimduiking, dan zullen wij, om het beeld van een deel der kim te vinden, dat door terugkaatsing gezien wordt in twee spiegels, die onderling een rechten hoek vormen, uit ieder punt van het genoemde deel loodlijnen moeten neêrlaten op de onbepaald verlengde lijn van doorsnede der beide spiegelvlakken en deze loodlijnen voorbij de laatstgenoemde lijn evenveel verlengen.

Zij EE', fig. 145, de lijn waaronder de beide spiegelvlakken elkander snijden, makende met den horizon der waarnemingsplaats een hoek $E'EN = \alpha$; I een punt der kim; LIM een kleine cirkel, gaande door I en loodrecht op de lijn EE'. Trekt men in dien cirkel de middellijn IpI', dan is deze loodrecht op EE', en I' zal mitsdien het beeld van I zijn, door terugkaatsing in de beide spiegels.

Is $L'M'$ een groote cirkel, waarvan het vlak loodrecht staat op EE', dan is $KEN = 90^\circ$, en Ep zal de kortste afstand zijn tusschen de lijnen KK' en II'. Laat men dan uit I en uit I' de loodlijnen Im en $I'm'$ op KK' neêr, dan zullen deze, uithoofde van de symetrie der figuren EpI en EpI', aan elkander gelijk zijn. Dewijl echter ook $mI = Eq = m'I''$ is, zoo is $m'I'' = m'I'$ en de driehoek $I'm'I''$ gelijkbeenig.

Voorts is

$$Ip = I'p \quad \text{en} \quad Iq = I''q$$

dus

$$I'I'' = 2pq$$

en de gelijkbeenige driehoek $I'm'I''$ is dus juist het dubbel van den rechthoekigen driehoek Epq, waaruit volgt:

$$\text{hoek } I'm'I'' = 2pEq = 2\alpha.$$

Dewijl α standvastig is voor alle punten I, die men in de kim aanneemt, zoo is ook hoek $I'm'I''$ standvastig. Al de loodlijnen $I'm'$ zijn dus evenwijdig en liggen in één plat vlak. De doorsnede van den bol met dit vlak zal dus een groote cirkel zijn, gaande door het punt K' en makende met den horizon een hoek $= 2\alpha$.

Stelt dan $OKDK'$, fig. 146, het verlengde vlak van den cirkel voor, en is EE' loodrecht op dit vlak, dan zal de boog $K'N' = 90^\circ$ het beeld van den boog KN of der kim zijn, zooals het na dubbele reflexie zal gezien worden, als hoek $N'K'N = 2\,E'EN = 2\alpha$ is.

Het dubbel gereflecteerde beeld van de kim maakt dus met het rechtstreeks geziene een hoek, die het dubbel is van den hoek, dien de cirkel

met de vertikaal maakt. Loopen de beide beelden echter evenwijdig, en valt dus $K'N'$ met $K'N$ te zamen, dan staat het vlak van den cirkel vertikaal.

Tot dus verre is de plaats van het oog volstrekt nog niet in aanmerking gekomen. De eenige voorwaarde om het verschijnsel te kunnen waarnemen was, dat het teruggekaatste beeld het oog trof, en onder die voorwaarde is het onverschillig, welke de stand des kijkers daarbij zij, de helling moge groot, klein of nul zijn.

Maken de beide spiegels geen rechten hoek met elkander, dan zal men toch in den tweeden spiegel een beeld zien, dat gelijk is aan het voorwerp, waardoor het gevormd wordt. De plaats echter verschilt, dewijl de lijn MM'' dan niet door de lijn van doorsnede E, fig. 144, gaat. Het beeld in M' is symetriek met het voorwerp in M, en het beeld in M'' symetriek met het beeld in M', en dus gelijk aan het voorwerp in M.

Indien twee punten zuiver diametraal tegenovergesteld waren, zoodat de waarnemer zich bevond in de rechte lijn, die de beide punten vereenigt, dan zouden de beelden van deze voorwerpen niet in aanraking kunnen gebracht worden, dan alleen op die plaats in het veld van den kijker, waar men evenwijdig aan het vlak van den cirkel ziet. Waren er lichtelijk zulke diametraal tegenoverstaande punten te vinden, dan zou hierin een middel gelegen zijn, om de evenwijdigheid des kijkers te toetsen. Het punt K, fig. 146, wordt gezien in K', d. i. volgens de richting EK', die evenwijdig is aan het cirkelvlak.

3°. Bepaling van den hoek β.

De hoek β, dien de lichtstralen OM of KM, fig. 147, met de normaal op het hypotenusavlak van het prisma maken, kan bij de cirkels op de volgende wijze bepaald worden. Men draait de alhidade zoover om, tot dat de spiegel *de* loodrecht staat op de richting OM, dan zullen de draden van den kijker, als zij loodrecht op het vlak van den cirkel gesteld zijn, in het prisma en op den spiegel volgens OM teruggekaatst worden en een beeld vormen in het brandpunt van den kijker, dat bij dien stand van den spiegel met de draden moet samenvallen. Klaarblijkelijk is dan de hoek OEM, dien de spiegelende vlakken van den spiegel en het prisma te zamen maken, gelijk aan den hoek β, en het dubbel van dien hoek zal op de verdeeling worden afgelezen, als de index-correctie, op een ver verwijderd voorwerp bepaald, nul is. Bij den cirkel, Marine n°. 439, bedraagt die hoek 71°14'.

Ten einde de draden en het beeld zichtbaar te maken, schroeve men de glazen van de oogbuis des kijkers af, houde een stukje glas in een schuinschen stand, voor het oogeinde van den kijker zoodanig, dat het daglicht, daarop vallende, langs de buis des kijkers moet worden teruggekaatst en zie met een vergrootglas, door dat stukje glas heen, naar

de draden. Verschuift men nu de alhidade, dan verschijnt het beeld van de draden op een lichten achtergrond, en als men het met de draden laat samenvallen, dan staat de spiegel loodrecht op *OM*. Het is zaak bij dit onderzoek een zwart papier over den cirkel te leggen, ten einde het overtollige licht af te weren.

d. DE PATENT-SEXTANT

heeft dezelfde inrichting als de volle cirkel, doch de alhidade is niet doorloopend, dewijl de limbus slechts een boog van 250° bevat. Het gemis van opposite noniën ontneemt aan den patent-sextant de voordeelen, die daardoor aan de cirkels verbonden zijn.

Dewijl de patent-sextanten ingericht kunnen worden tot het meten van hoeken van 180°, zoo kunnen zij ook voor de bepaling der kimduiking gebezigd worden.

Bij de beoordeeling der prisma-reflexie-werktuigen, merkt men de volgende voordeelen op:

1°. dat zij de meting van hoeken tot 180° veroorloven;

2°. dat zij heldere beelden geven;

3° dat de gekleurde glazen omgelegd kunnen worden;

4°. dat de sextanten dubbele en de cirkels tevens opposite noniën bezitten;

5°. dat de verdeeling des nachts op een uitmuntende wijze kan worden afgelezen.

Onder de nadeelen dier werktuigen moeten wij rangschikken:

1°. dat zij een grooteren windvang hebben, dan de gewone sextanten;

2°. dat het aantal gekleurde glazen te gering is, zoodat de lichtsterkte der beelden niet altijd naar behooren getemperd kan worden;

3°. dat bij het gebruik van de oogbuis tot het meten van hoogten, zooals in vele gevallen op zee kan voorkomen, de aanraking van het beeld met de kim niet zoo goed als bij gewone sextanten kan beoordeeld worden;

4°. dat een geringe verplaatsing van het oog, bij de aflezing der verdeeling, een fout daarin kan doen begaan.

Verdienen de patent-reflexie-instrumenten de voorkeur boven de gewone sextanten, wanneer het op groote nauwkeurigheid aankomt, zooals bij het meten van maansafstanden, plaatsbepaling aan wal, enz., zoo verkiezen wij nogtans voor hoogtemeting op zee den gewonen sextant, uithoofde van de bovengenoemde nadeelen. Door die nadeelen toch kan het gebeuren, dat men in spoed vereischende gevallen, zooals de ondervinding ons geleerd heeft, met de prisma-werktuigen van een waarneming verstoken blijft, die met den gewonen sextant stellig zou gelukt zijn. Voor de waarneming van hoogten des nachts, en over dag bij wolkdrijvende lucht zijn de patent-reflexie-werktuigen zeer lastig in het gebruik.

III. DE ARTIFICIEELE HORIZON OF KUNSTKIM.

a. BESCHRIJVING VAN HET WERKTUIG.

Dit werktuig dient tot het meten van hoogten van hemellichten aan den wal, alwaar men, zooals gewoonlijk het geval is, geen vrije kim heeft, en bezit te dien einde een inrichting, waardoor een horizontale, spiegelende vlakte gevormd wordt.

De genoemde vlakte kan worden gemaakt door de oppervlakte van een zuiver gepolijste glasplaat, of door die eener vloeistof.

In het eerste geval bestaat het werktuig hetzij uit een glazen plaat, die op drie schroeven rust en met behulp van een afzonderlijk niveau horizontaal gesteld kan worden, of uit een cilindervormige koperen doos, die door de glasplaat wordt gesloten en waaronder de ruimte grootendeels met spiritus is gevuld. Is dan de laatstbedoelde plaat aan den onderkant hol uitgeslepen zoodanig, dat de loodlijn, die wij ons in het midden van de bovenvlakte der plaat opgericht kunnen denken, door het middelpunt van de uitholling gaat, dan zal de luchtbel, die onder de plaat aanwezig is, dewijl de ruimte niet geheel door de vloeistof wordt ingenomen, bij horizontalen stand van de bovenoppervlakte der plaat juist in het midden komen. Mocht de bel daarvan afwijken, dan kan men haar, door de schroeven, waarop de doos rust, te verdraaien, den vereischten stand geven, en alzoo de plaat horizontaal stellen.

De tweede soort, die de meest gebruikelijke is, bestaat uit een ondiep, vierkant of rond koperen bakje of schoteltje, dat met kwikzilver of olie wordt gevuld. Is de vloeistof in rust, dan zal hare oppervlakte horizontaal zijn en de lichtstralen voor een groot gedeelte terugkaatsen.

Zal de vloeistofhorizon een bruikbaar werktuig zijn, dan moet de vloeistof

1°. een sterk spiegelend oppervlak geven, althans voor sterren;

2°. een plat vlak vormen;

3°. in rust zijn;

4°. niet spoedig verdampen;

5°. door koude niet dik worden.

Aan al deze vereischten voldoet de kwikhorizon van SCHÖNAU ten volle. Door de zorg van wijlen den verificateur van 's Rijks zeeinstrumenten, den hoogleeraar F. KAISER, bij de Ned. Marine ingevoerd, overtreft hij alle andere kunstkimmen in eenvoudigheid van behandeling en deugdelijkheid. De genoemde hoogleeraar heeft het bedoelde werktuig aldus doen inrichten:

Een langwerpig vierkant plaatje van rood koper, dat eenigzins is uitgeklopt en welks holle zijde met salpeterzuur en kwik is geamalgameerd, rust op vier nokjes in een houten bakje, dat op zijne beurt door drie

pootjes gedragen wordt. Een dezer pootjes is een schroef, waardoor aan den toestel de behoorlijke stand kan worden gegeven.

Ten einde de spiegelende vlakte te verkrijgen, giet men het kwikzilver uit het palmhouten fleschje, waarin het bewaard wordt, op het plaatje, zoodat de holte ongeveer gevuld is. Door het amalgaam verliest het kwikzilver zijne te groote gevoeligheid, vloeit op het plaatje uit en vormt alzoo op eenigen afstand van de randen een plat vlak. Mocht de kwikoppervlakte door koper- of kwikoxyde verontreinigd zijn en daardoor minder zuivere beelden vormen, dan wordt die oppervlakte door het luchtig afvegen met een veertje of een stukje papier volkomen gereinigd. Na het gebruik, wordt het kwikzilver in het houten bakje uitgestort en daarna in de flesch gegoten, waarbij geen kwikzilver behoeft verloren te gaan.

Ofschoon het kwikzilver door deze inrichting zeer rustig is, zoo zou toch de wind, bij het gebruik van het werktuig in de open lucht, lastige trillingen kunnen veroorzaken. Ten einde dit te voorkomen, wordt bij elken horizon een blikken dak verstrekt, dat ter beschutting over het houten bakje kan gezet worden. Het dak heeft in de schuine zijden twee gleuven van toereikende wijdte, welke gleuven nog door een afzonderlijk dubbel metalen raampje, waartusschen blaadjes mica gevat zijn, kunnen gedekt worden, bijaldien de wind hinderlijk mocht blijven. Een dof zwart gemaakt plaatje kan voorts op het koperen bakje worden gelegd, om het hinderlijke reflexielicht der randen weg te nemen. In het midden van dat plaatje is een gleuf, waardoor een toereikend gedeelte der spiegelende oppervlakte zichtbaar blijft.

Het gebruik van mica in het vroeger genoemde raampje heeft ten doel, om de afwijkingen der lichtstralen te voorkomen, die bij het gebruik van een glazen bedekking ontstaan, als de voor- en achtervlakken der glazen niet evenwijdig zijn, of de glassoort niet homogeen is. In het laatste geval toch, zal het omzetten van het dak, tusschen twee metingen, het gemiddelde daaruit, streng genomen, niet bevrijden van de fout, die uit de afwijking der lichtstralen ontstaat. Heeft men geen andere dan een glazen bedekking, dan kan de deugd van het glas op soortgelijke wijze onderzocht worden, als op bladz. 389 voor de gekleurde glazen is opgegeven.

Men amalgameert het koperen plaatje, bijaldien het kwikzilver, dat er op gehecht is, door verdamping verminderd mocht zijn, door eenige druppels uit het fleschje met salpeterzuur, dat daartoe bij den horizon verstrekt wordt, op het plaatje te gieten, benevens eenig kwikzilver, en dit vervolgens met een papieren propje over het plaatje uit te wrijven.

Bij gebrek aan kwikzilver kan men zich met olie behelpen. Men neme dan een gewoon houten bakje en plaatse dit op watten, om de trillingen van den grond, waarop het bakje rust, zoo veel doenlijk onschadelijk te maken.

Een nieuwe kunstkim, waarbij de kwik niet zooveel vuil opneemt als op de wijze waarop zij nu geborgen is, is te Leiden in bewerking, naar de vinding van den tegenwoordigen verificateur van 's Rijks zee-instrumenten Dr. P. J. KAISER. Wellicht kan een beschrijving hiervan in het tweede deel het licht zien.

Verschillende pogingen zijn in der tijd door BEECHER, TROUGHTON en anderen aangewend, om de kunstkim zoodanig in te richten, dat haar gebruik ook aan boord van schepen kon worden toegepast, doch tot dus verre zijn die pogingen met geen gunstigen uitslag bekroond. De slingerkim van BEECHER vereischte zeer groote oefening en leverde ook dan nog een zeer onzeker resultaat op, waaraan moet worden toegeschreven, dat dit werktuig onder de Nederlandsche zeevarenden niet is ingevoerd. Men vindt een beschrijving van dat werktuig in SWART's Handleiding voor de praktische zeevaartkunde, 1856. De kunstkim van PIAZZY SMYTH, door den Heer D. J. BROUWER beschreven in het tijdschrift: Verhandelingen en Berichten enz. van J. SWART, 1860, schijnt onder de voorgestelde werktuigen veel aanbeveling te verdienen, maar is zeer samengesteld. Schepen, voor wetenschappelijke onderzoekingen uitgerust, zouden daarvan voorzien kunnen worden.

b. HET METEN VAN HOOGTEN MET BEHULP VAN DEN ARTIFICIEELEN HORIZON.

Laat AB, fig. 148, het spiegelende vlak van de kunstkim, en GD een lichtstraal zijn, die van een ver verwijderd punt G afkomstig, in het punt D de genoemde vlakte treft, dan zal die lichtstraal volgens DO zoodanig worden teruggekaatst, dat hoek $GDA = BDO$ is, en het oog O zal het punt G door terugkaatsing zien, alsof dit zich in de richting van een punt F bevond, dat gelegen is in het verlengde van OD, terwijl het punt G rechtstreeks volgens OC wordt gezien, dewijl OD, in vergelijking met den afstand van het punt G, als nul kan aangemerkt worden. Meet men den hoek $COF = GDF$, door het beeld van het punt G, dat in de richting van OF gezien wordt, met het rechtstreeks geziene beeld van G te doen samenvallen, dan zal men, dewijl hoek $GDF = 2\ GDA$ is, daarvan slechts de helft hebben te nemen, om de schijnbare hoogte van het punt G boven den schijnbaren horizon te verkrijgen. Wij hebben namelijk:

$$\begin{aligned}\text{hoek } GDF &= \text{hoek } GDA + \text{hoek } ADF \\ &= \text{hoek } GDA + \text{hoek } ODB \\ &= 2 \text{ hoek } GDA.\end{aligned}$$

Hetgeen wij hier omtrent een enkel lichtend punt opmerken, geldt ook voor de hemellichten, die zichtbare schijven hebben, zoodat, als men zich de zon in het verlengde van DG denkt, haar beeld zich in de richting van F zal vertoonen, en het meten van hare hoogte met groote nauwkeurigheid zal kunnen geschieden, door de randen der beel-

den met elkander in aanraking te brengen. De volgende bijzonderheden verdienen daarbij onze aandacht.

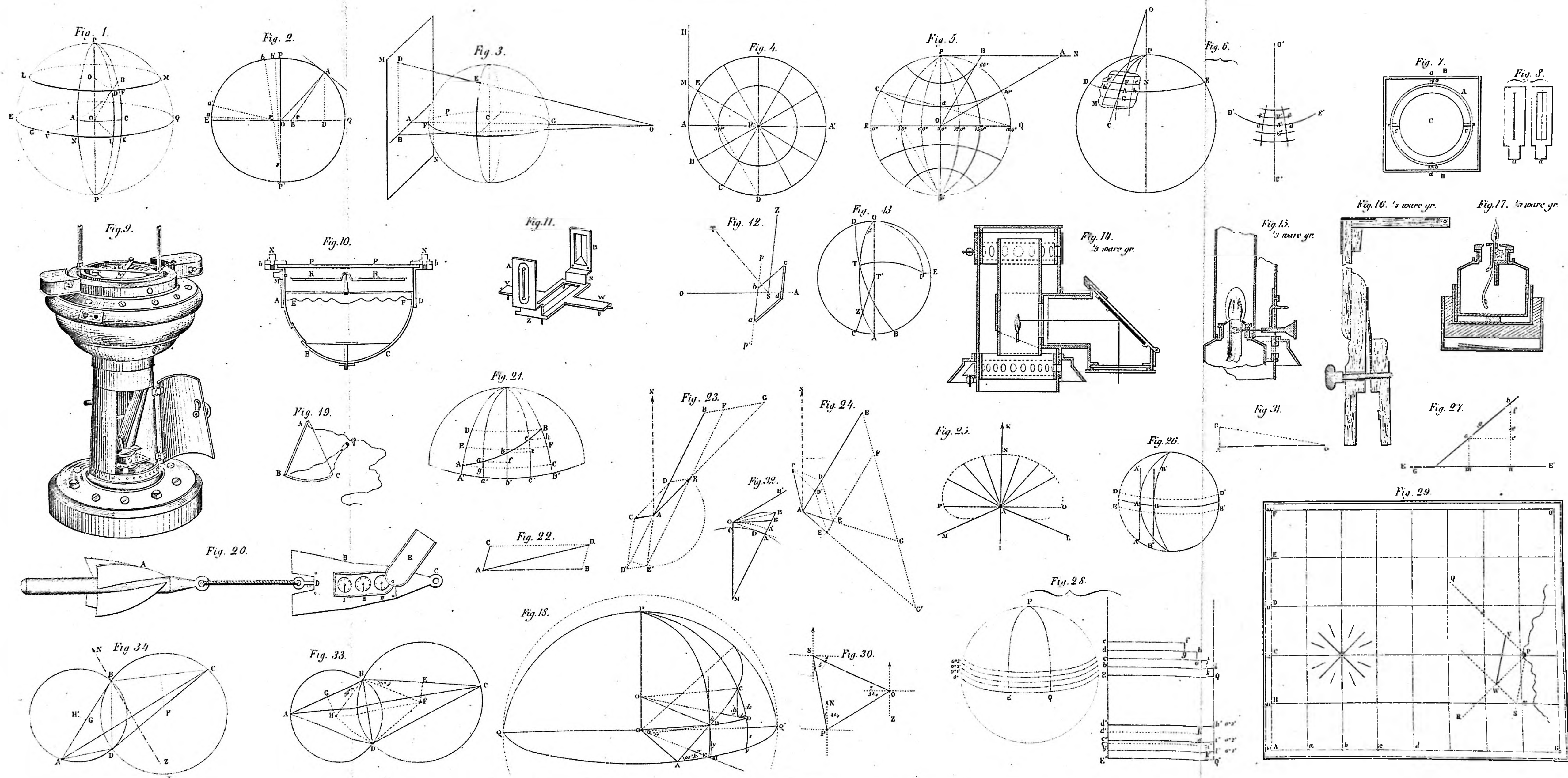
Om een zonshoogte te meten, wordt de artificieele horizon behoorlijk gesteld, de sextant met het handvatsel in de rechterhand vertikaal gehouden, en terwijl men door den kijkerbeugel met het bloote oog op het beeld der zon in den horizon richt, de alhidade zoolang verschoven, totdat het dubbel gereflecteerde beeld van de zon ongeveer het eerstgenoemde beeld raakt. De gekleurde glazen heeft men uit den aard der zaak voor de spiegels gelegd. Nadat de kijker scherp is gesteld, schroeft men dien in en brengt, door den kijker richtende, met behulp van de stelschroef, de zonnebeelden zoo nauwkeurig mogelijk met de randen in aanraking. Wordt dan de sextant een weinig om de as van den kijker gedraaid, dan beschrijft het dubbel gereflecteerde beeld een klein boogje, waardoor de juiste aanraking beter beoordeeld kan worden. Op de afgelezen dubbele hoogte wordt vervolgens de index-correctie toegepast en daarna de helft genomen van de verbeterde aflezing, om de schijnbare hoogte te verkrijgen. Ook hierbij is van toepassing, hetgeen wij vroeger bij de waarnemingen met den sextant opmerkten, dat men namelijk de aanraking der beelden ook door de rijzende of dalende beweging van de zon kan verkrijgen. Wij verkiezen immer deze manier boven de andere.

Om vergissingen te voorkomen bij het gebruik van den langen kijker, die de voorwerpen omkeert, houde men in het oog, dat wanneer het dubbel gereflecteerde beeld in den horizon onder het andere beeld gebracht is, de d u b b e l e o n d e r r a n d s h o o g t e zal worden afgelezen, doch in het tegengestelde geval, de d u b b e l e b o v e n r a n d s h o o g t e. De bovenrandshoogte is grooter dan die van den benedenrand; schuift men dus, als de beide beelden zich vertoonen, de alhidade een weinig vooruit en achteruit, dan ziet men terstond, of men door het in aanraking brengen der beelden, boven- dan wel onderrandsaanraking waarneemt. In plaats van de gekleurde glazen, kan bij deze waarnemingen met vrucht van den gekleurden oogdop gebruik gemaakt worden.

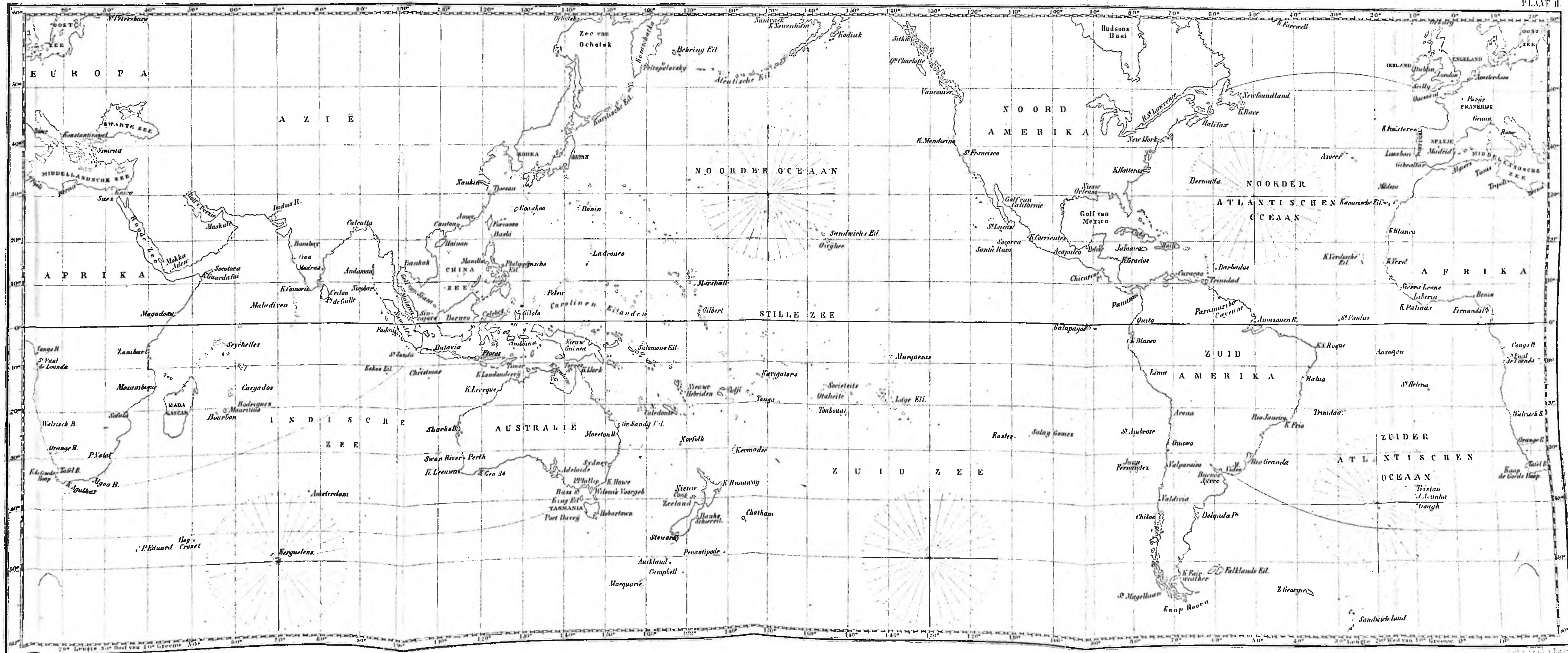
Bij de waarneming der maan, handelt men op overeenkomstige wijze. Voor stershoogten brengt men de beelden op elkander. Bezit men eenige oefening, dan is het beter die naast elkander te brengen.

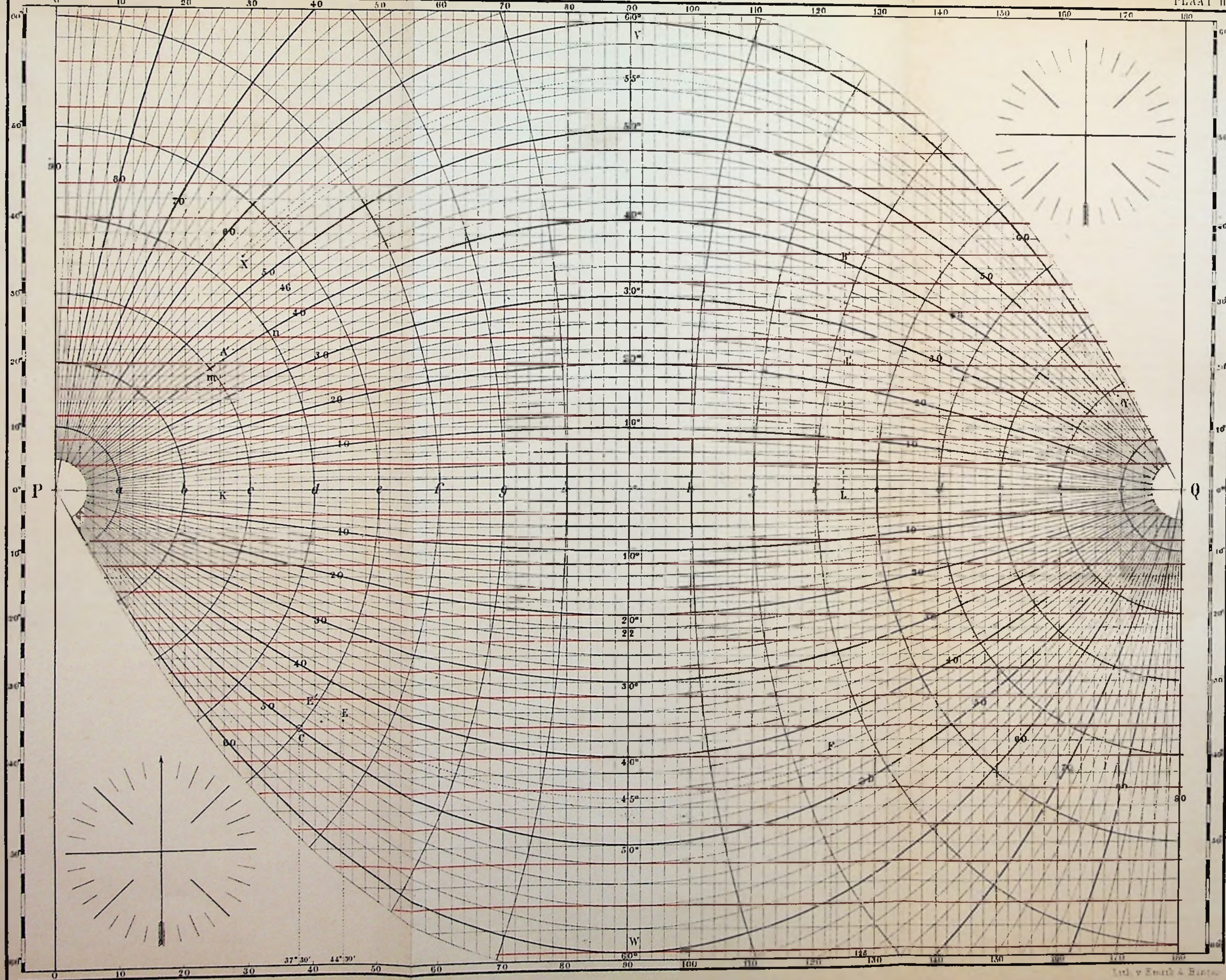
Een gewichtig punt, waarop bij zonswaarnemingen moet gelet worden, is, dat men het kwikbakje van tijd tot tijd moet omzetten, opdat nu eens de eene, dan weder de andere zijde door de zon verwarmd worde. Bleef namelijk dezelfde zijde van het bakje naar de zon gekeerd, dan zou de kwikoppervlakte een helling kunnen verkrijgen, die volgens LAMONT tot 10″ kan bedragen.

EINDE VAN HET EERSTE DEEL.



Lith. v. Emrik & Binger


EUROPA
AZIË
AFRIKA
OOST ZEE
St Petersburg
ZWARTE ZEE
Konstantinopel
Smirna
MIDDELLANDSCHE ZEE
Kairo
Suez
Roode Zee
Golf v. Perzie
Maskat
Indus R.
Mekka
Aden
Socotora
K. Guardafui
Bombay
Goa
Madras
Calcutta
Andaman
Nicobar
Ceilon
Pt de Galle
K. Comorin
Maladiven
Magadoxo
Zanzibar
Seychelles
Mozambique
Cargados
Rodrigues
Mauritius
Bourbon
MADAGASCAR
Sofala
INDISCHE ZEE
Walvisch B.
Orange R.
P. Natal
Tafel B.
K. de Goede Hoop
K. Agulhas
Algoa B.
Amsterdam
P. Eduard
Hog Crozet
Kerguelens
Congo R.
St Paul de Loanda
Zee van Ochotsk
Ochotsk
Kamschatka
Petropolovsky
Behring Eil.
Aleutische Eil.
Kurilische Eil.
KOREA
JAPAN
Nankin
Formosa
Loo-choo
Bonin
Amoy
Canton
Hainan
Bashi
Bankok
Golf van Siam
CHINA ZEE
Manilla
Philippijnsche Eil.
Malakka
Singapore
Borneo
Celebes
Gilolo
Padang
St Sunda
Batavia
Flores
Amboina
Timor
Nieuw Guinea
Torres
Christmas
Kokos Eil.
K. Londonderry
K. York
K. Leveque
Sharks B.
AUSTRALIE
Moreton B.
Swan River
Perth
K. Leeuwin
K. Geo. St.
Adelaide
Sydney
P. Phillip
K. Howe
Bass St.
King Eil.
Wilson's Voorgeb.
TASMANIA
Port Davey
Hobartown
Ladrones
Pelew
Carolinen Eilanden
Marshall
Gilbert
Salomons Eil.
Nieuwe Hebriden
Vidji
Caledonie
Norfolk
Kermadec
Nieuw Zeeland
Cook St.
K. Runaway
Banks
Chatham
Stewart
Penantipode
Auckland
Campbell
Macquarie
NOORDER OCEAAN
Sandwichs Eil.
Owyhee
STILLE ZEE
Marquesas
Navigators
Tonga
Societeits
Otaheite
Toubouai
Lage Eil.
ZUID ZEE
Easter
Salay Gomez
Sitka
Kodiak
Sunivack
K. Sewenham
Qn Charlotte
Vancouver
K. Mendocino
St Francisco
NOORD AMERIKA
Hudsons Baai
St Lawrence
Newfoundland
K. Race
Halifax
New York
K. Hatteras
Bermuda
Nieuw Orleans
Golf van Mexico
Golf van Californie
St Lucas
Socorro
Santa Rosa
K. Corrientes
Acapulco
Jamaica
Haiti
K. Gracias
Chicacre
Panama
Curaçao
Trinidad
Barbados
Paramaribo
Cayenne
Galapagos
Quito
K. Blanco
Lima
ZUID AMERIKA
Amazonen R.
K. St Roque
Bahia
Arena
St Ambrose
Guasco
Juan Fernandez
Valparaiso
Rio Janeiro
K. Frio
Rio Grande
Buenos Ayres
Valdivia
Chiloe
Delgada Pt.
K. Fairweather
Falklands Eil.
St Magellaan
Kaap Hoorn
Z. Georgie
Sandwich land
NOORDER ATLANTISCHEN OCEAAN
Azores
Kanarische Eil.
Madera
K. Blanco
K. Verdische Eil.
K. Verd
Sierra Leone
Liberia
K. Palmas
St Paulus
Fernando Po
Benin
Ascension
St Helena
Trinidad
ZUIDER ATLANTISCHEN OCEAAN
Tristan d'Acunha
Gough
Kaap de Goede Hoop
Tafel B.
K. Farewell
IERLAND
Dublin
ENGELAND
Londen
Amsterdam
Scilly
Quessant
Parijs
FRANKRIJK
Genua
Rome
K. Finisterre
SPANJE
Madrid
Lissabon
Gibraltar
Algiers
Tunis
Tripoli
MIDDELLANDSCHE ZEE
AFRIKA
Congo R.
St Paul de Loanda
Walvisch B.
Orange R.
Lengte Oost van Greenw.
Lengte West van Greenw.



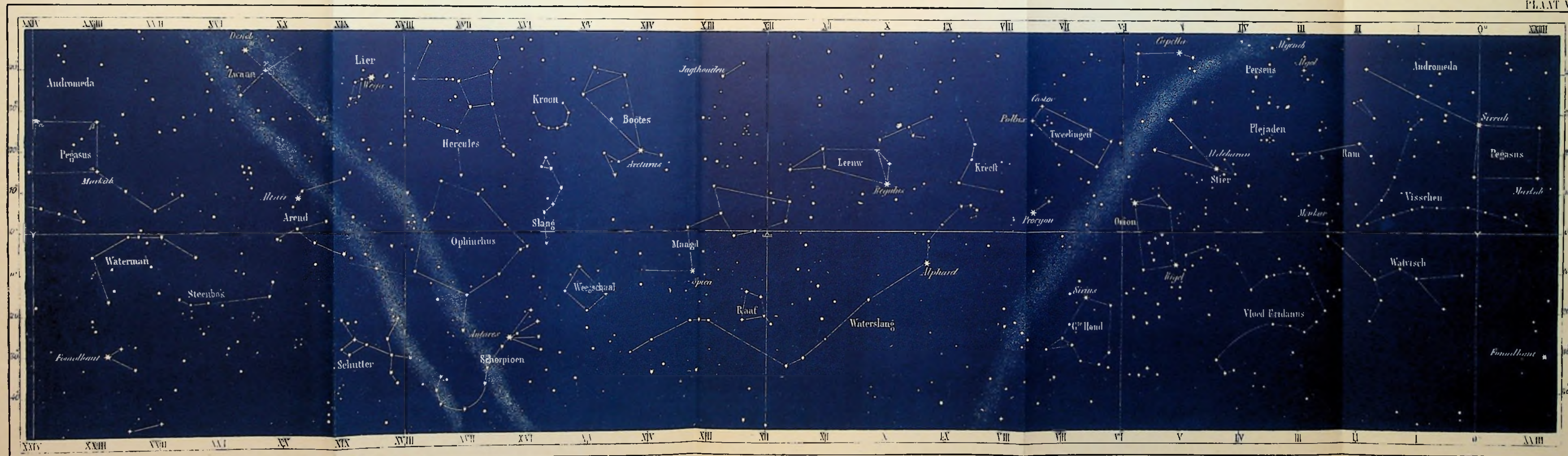
Lith. v Emrik & Binger



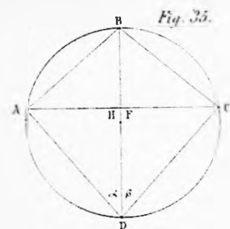
BROUWER EN SIMON V.D. AA, ZEEVAARTKUNDE.

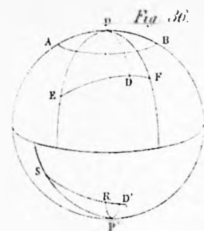
Lith. Emrik & Binger.

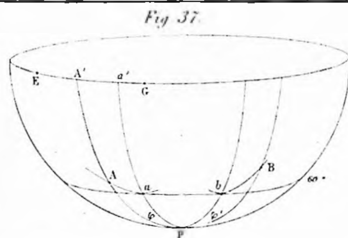
PLAAT V

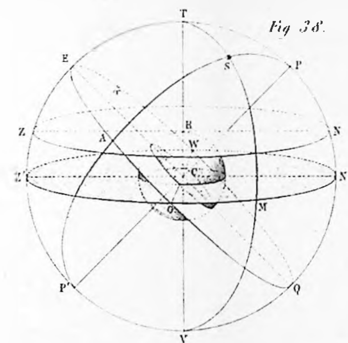


BROUWER EN SIXON V.D.AA, ZEEVAARTKUNDE


Fig. 35.


Fig. 36.


Fig. 37.


Fig. 38.

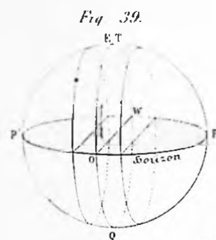


Fig. 39.

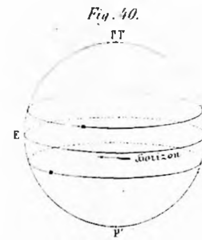
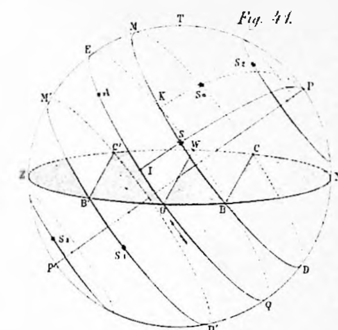
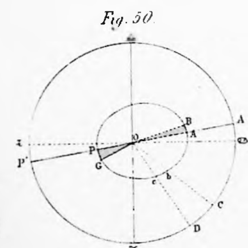
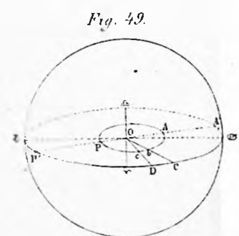


Fig. 40.


Fig. 41.


Fig. 50.


Fig. 49.

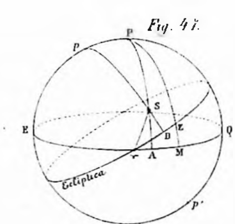
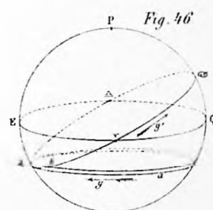


Fig. 47.


Fig. 46.

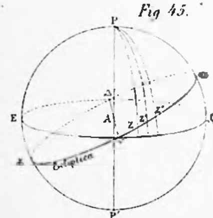
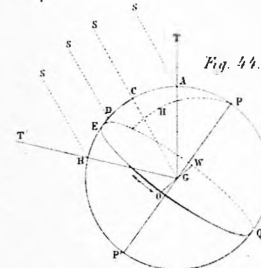
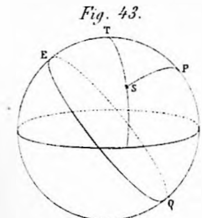
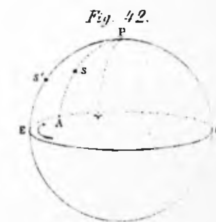
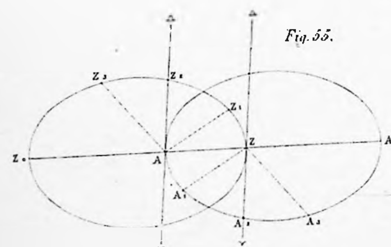


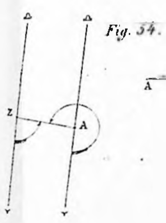
Fig. 45.

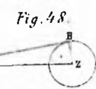

Fig. 44.

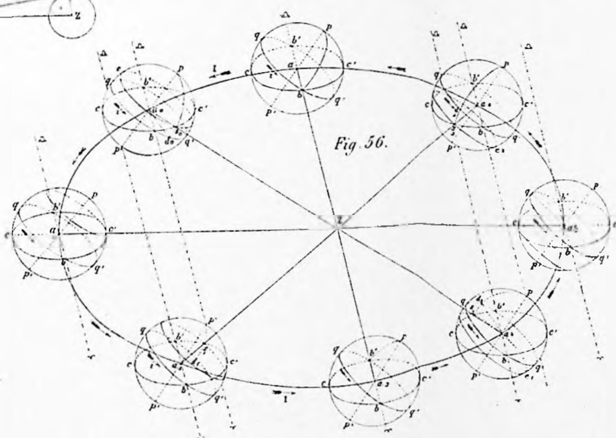

Fig. 43.

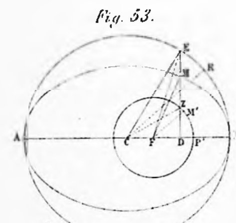

Fig. 42.

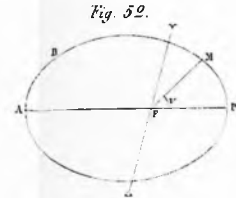

Fig. 55.

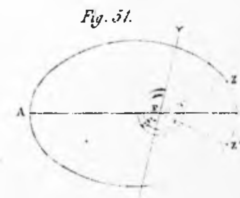

Fig. 34.


Fig. 48.


Fig. 56.


Fig. 53.


Fig. 52.


Fig. 51.

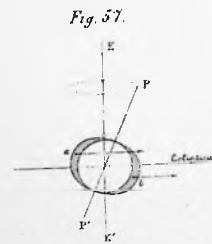
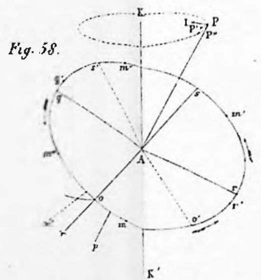
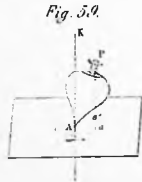
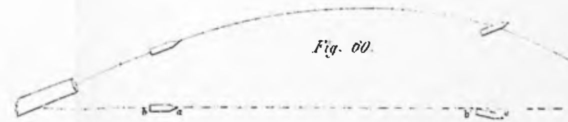


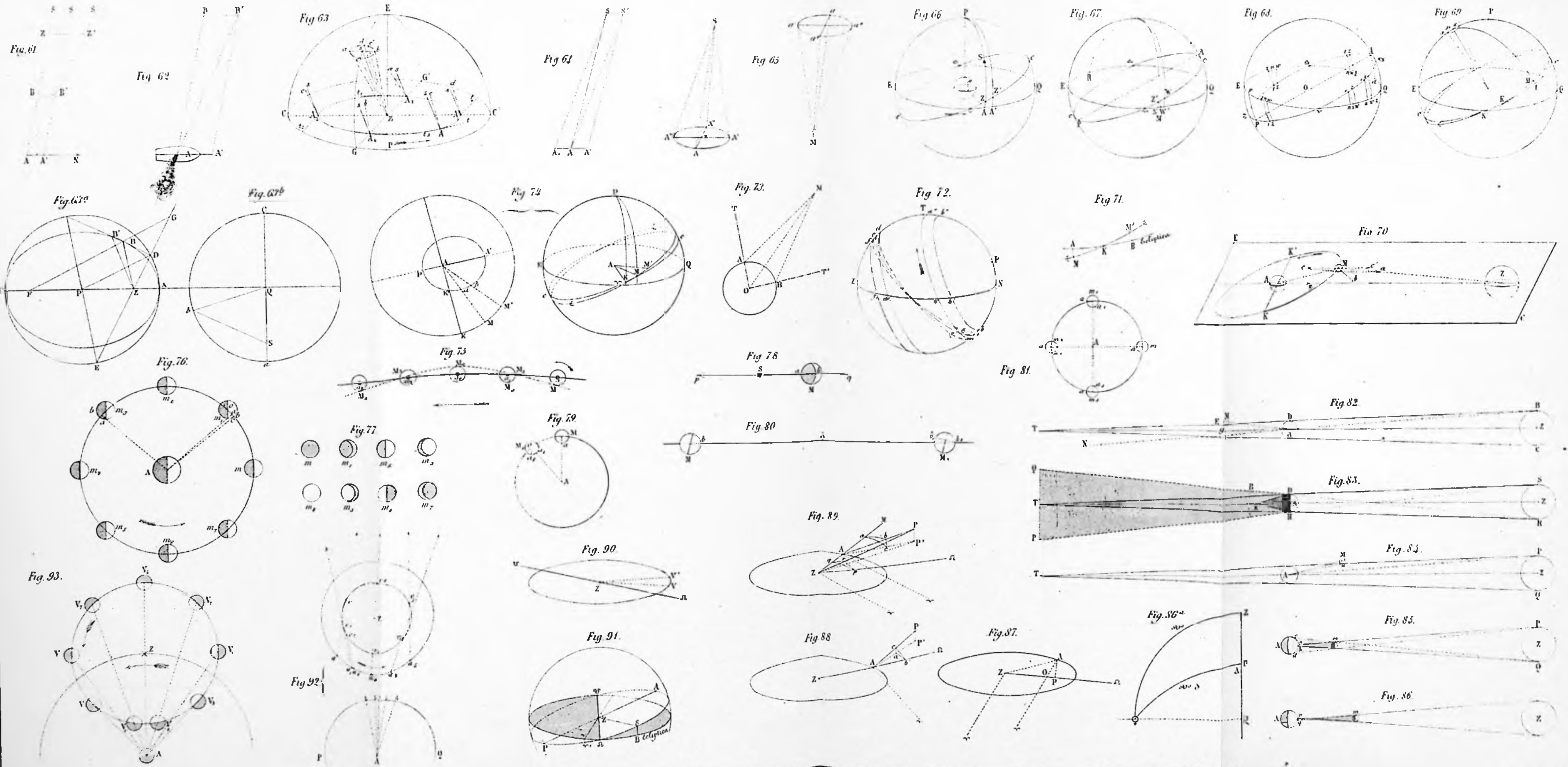
Fig. 57.


Fig. 58.

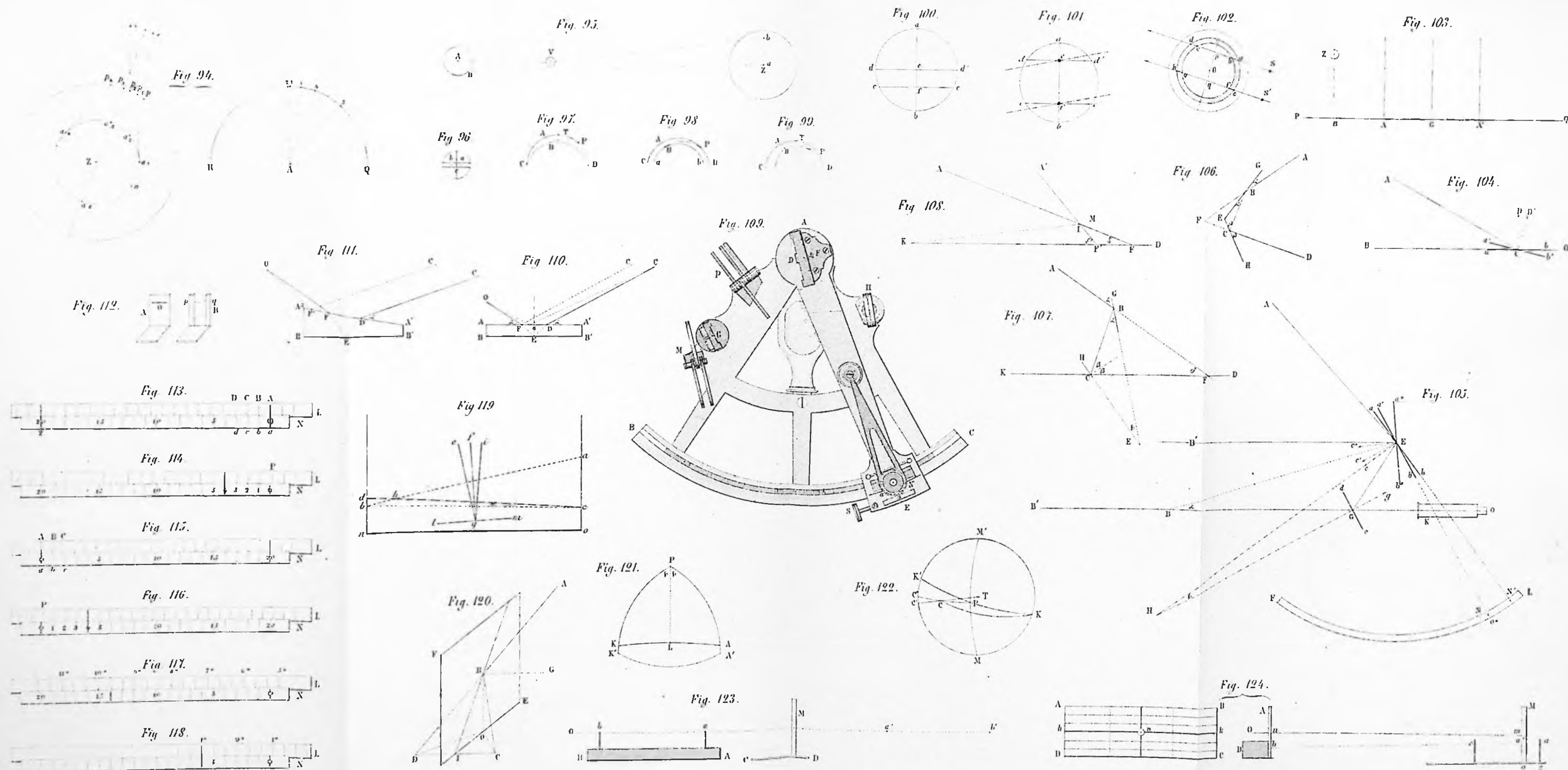

Fig. 59.


Fig. 60.

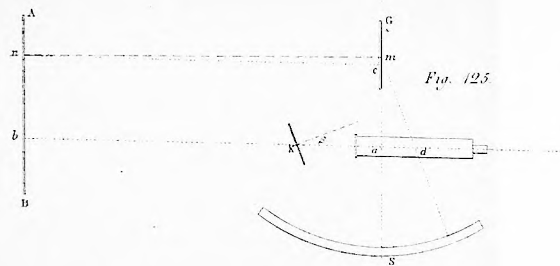
Lith. v. Emrik & Binger

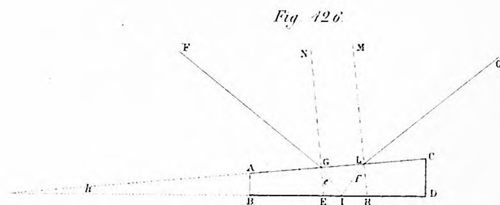


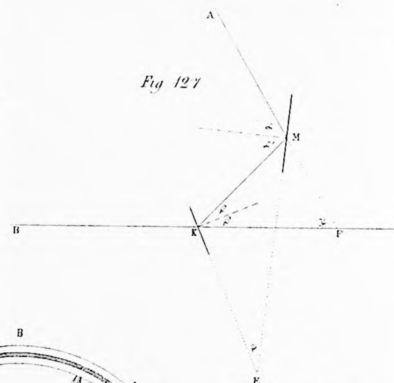
Lith. v. Emrik & Binger

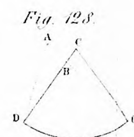


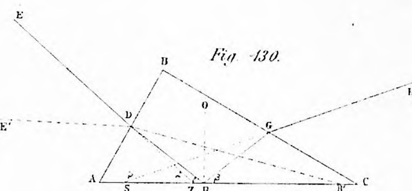
Lith. v. Emrik & Binger

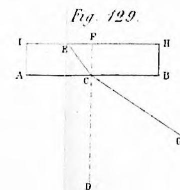

Fig. 125.

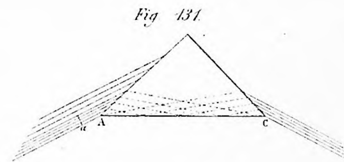

Fig. 126.

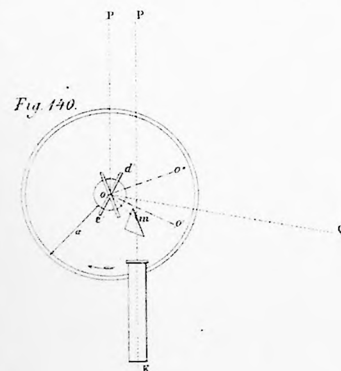

Fig. 127.

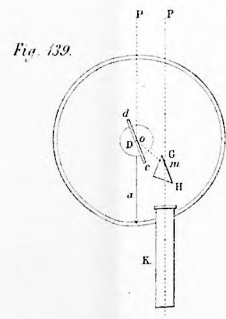

Fig. 128.

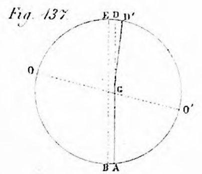

Fig. 130.

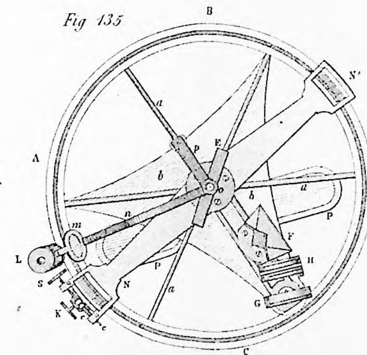

Fig. 129.

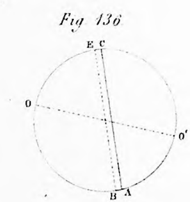

Fig. 131.

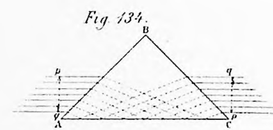

Fig. 140.

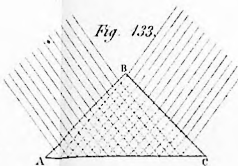

Fig. 139.

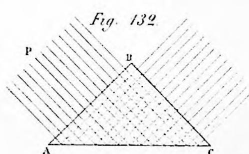

Fig. 137.

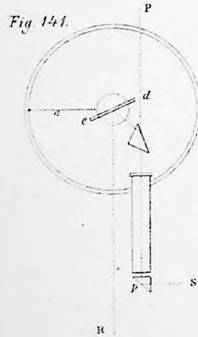

Fig. 135.

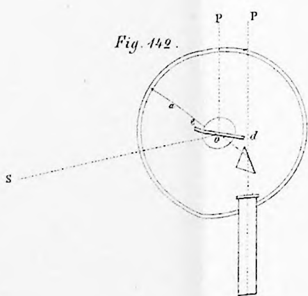

Fig. 136.

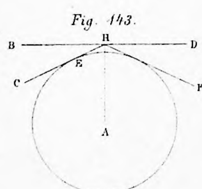

Fig. 134.

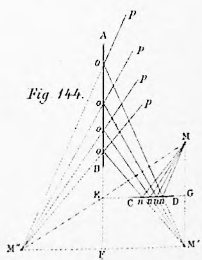

Fig. 133.

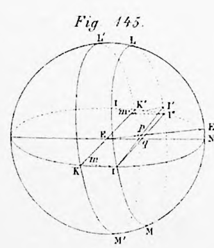

Fig. 132.

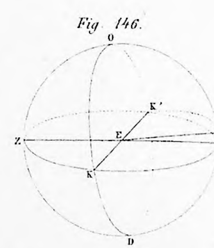

Fig. 141.

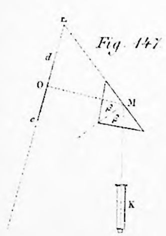

Fig. 142.

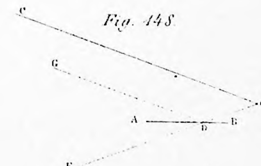

Fig. 143.

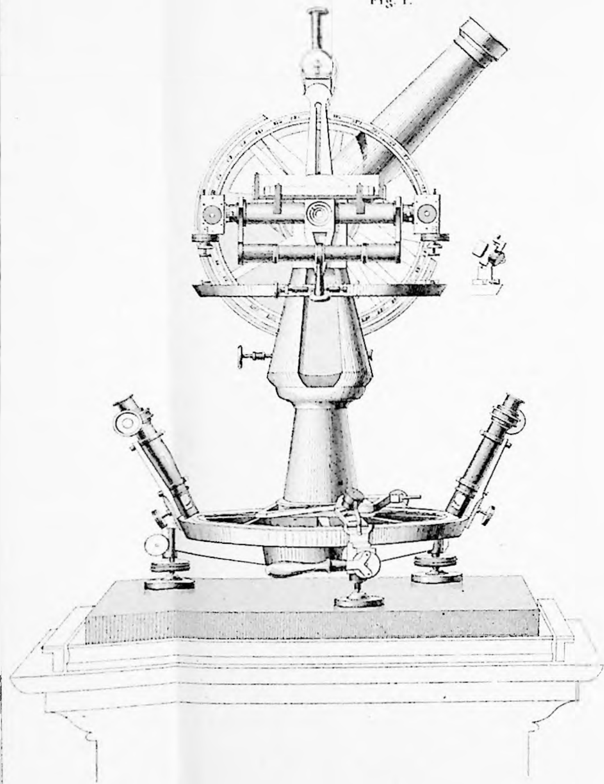

Fig. 144.

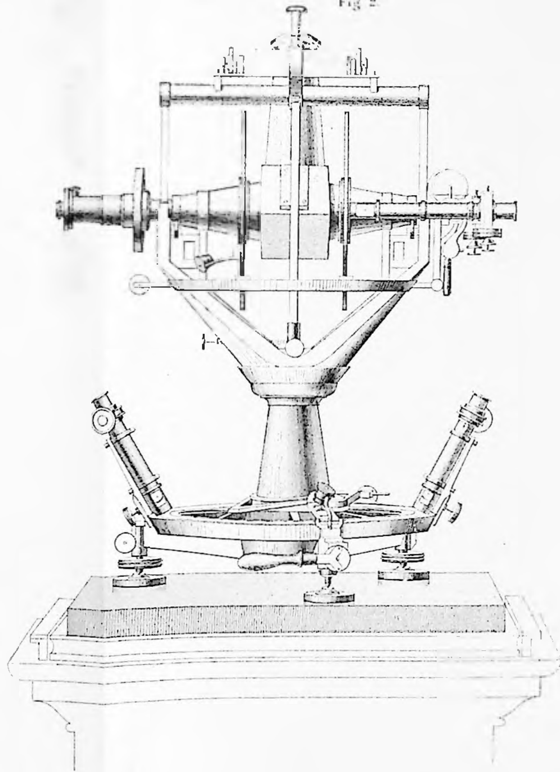

Fig. 145.

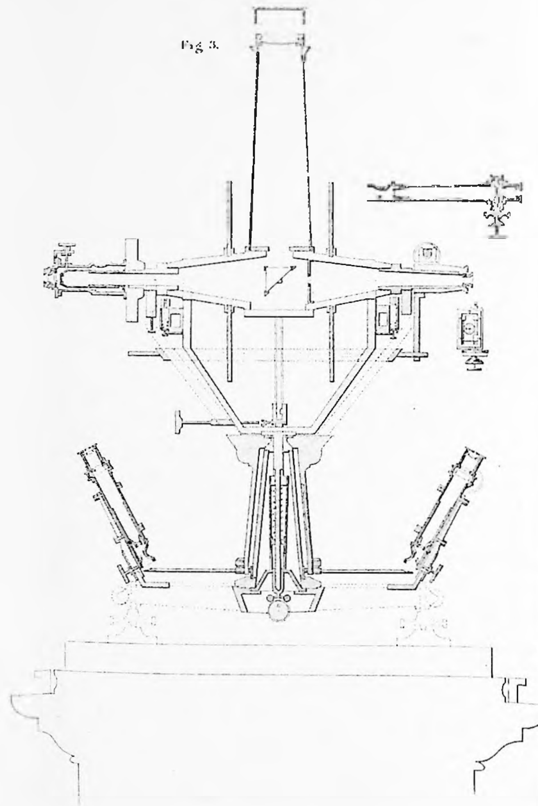

Fig. 146.

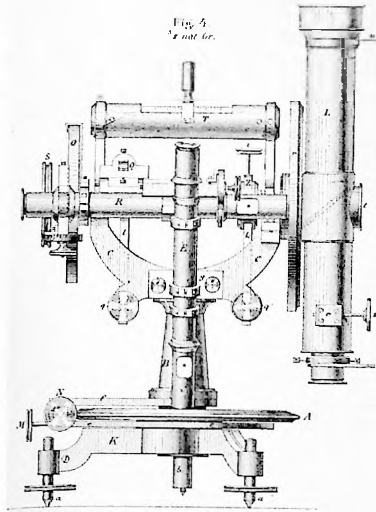

Fig. 147.

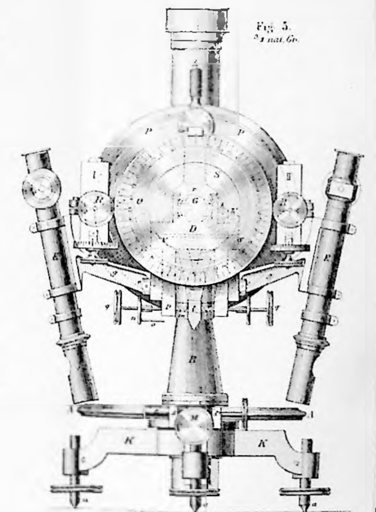

Fig. 148.


Fig. 1.


Fig. 2.


Fig. 3.


Fig. 4.


Fig. 5.

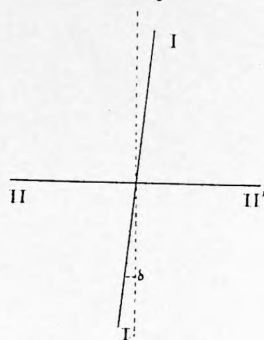


Fig. 6

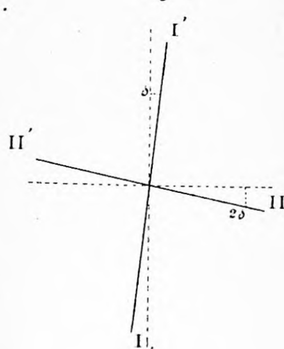


Fig. 7

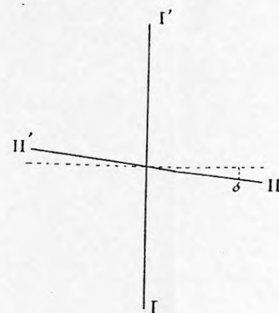


Fig. 8

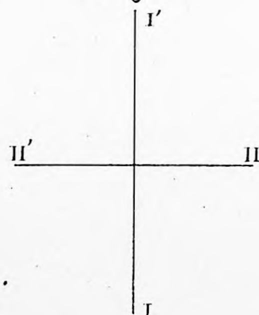


Fig. 9

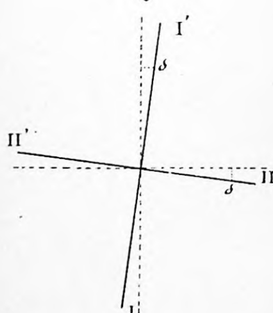


Fig. 10

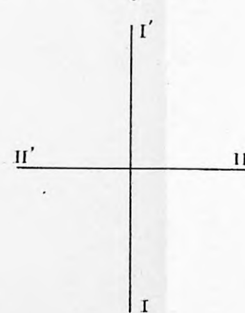


Fig. 11

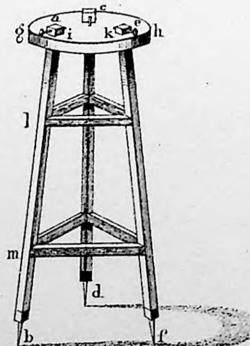
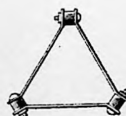
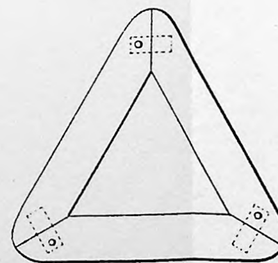


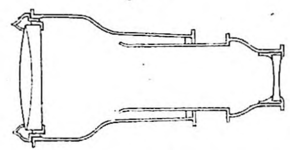
Fig. 12


Fig. 13


Fig. 14

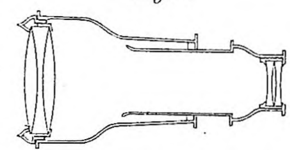
Lith. Emrik & Binger.

Fig. 1.



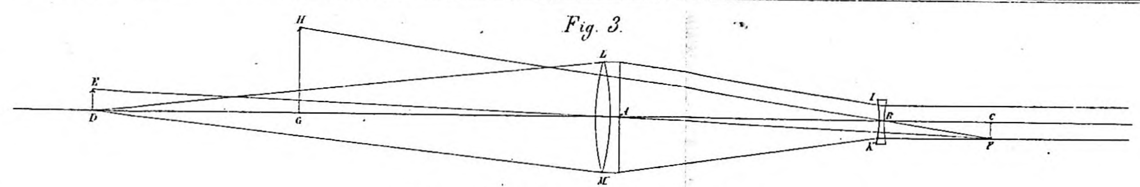
Hollandsche kijker met tweevoudig objectief en enkelvoudig oculair.

Fig. 2.



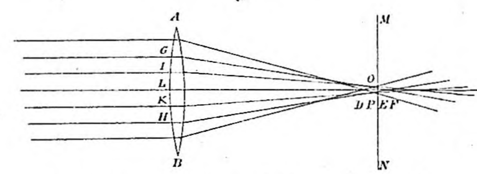
Hollandsche kijker met drievoudig objectief en drievoudig oculair.

Fig. 3.



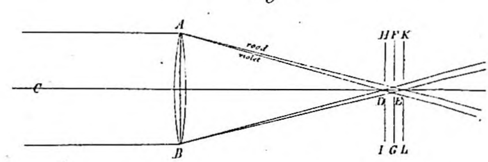
Loop der lichtstralen in eenen Hollandschen kijker

Fig. 4.



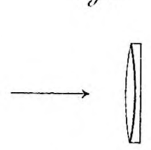
Afwijking wegens bolvormigheid van een objectief.

Fig. 5.



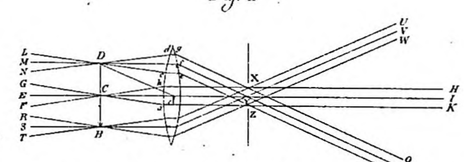
Afwijking wegens kleurschifting

Fig. 6.



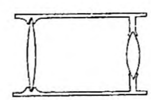
Objectief van Herschel.

Fig. 7.



Afwijking wegens bolvormigheid in een enkelvoudig oculair.

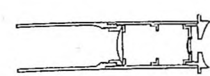
Fig. 8.



Oculair van Huygens

Oorspronkelijke Samenstelling

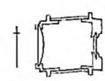
Fig. 9.



Oculair van Huygens

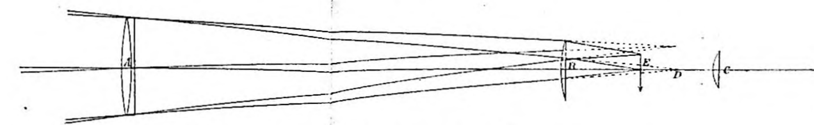
Latere Samenstelling

Fig. 11.



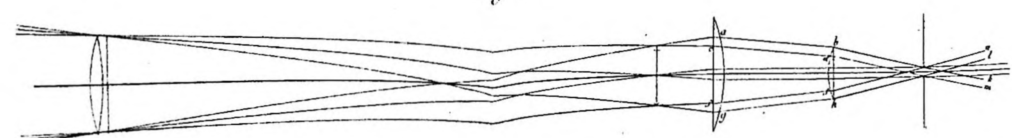
Oculair van Ramsden

Fig. 10.



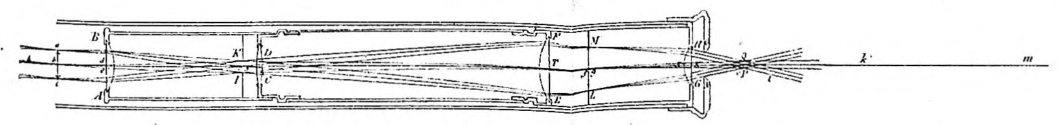
Loop der lichtstralen in een kijker met oculair van Huygens

Fig. 12.



Loop der lichtstralen in een kijker met oculair van Ramsden.

Fig. 13.



Loop der lichtstralen in een aardsche oogbuis.